

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-142094

(43)Date of publication of application : 17.05.2002

(51)Int.Cl.

H04N 1/387
G06T 1/00
G10L 11/00
H04N 1/40
H04N 7/08
H04N 7/081

(21)Application number : 2000-333725

(71)Applicant : TOSHIBA CORP

(22)Date of filing : 31.10.2000

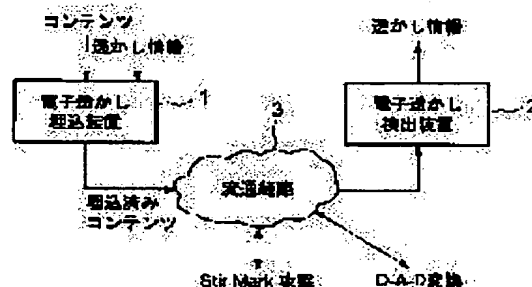
(72)Inventor : MURATANI HIROBUMI

(54) ELECTRONIC WATERMARK IMBEDDING DEVICE, ELECTRONIC WATERMARK DETECTOR, ELECTRONIC WATERMARK IMBEDDING METHOD, ELECTRONIC WATERMARK DETECTION METHOD AND RECORDING MEDIUM

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an electronic watermark system that has immunity to local deformation by a StirMark attack and D-A-D-conversion.

SOLUTION: An electronic watermark imbedding device 1 that imbeds watermark information to object digital contents, receives a prescribed phase unchanged amount corresponding to the watermark information to be imbedded to the contents, and revising the part of the contents used for imbedding the watermark information can set a prescribed phase unchanged amount to the contents. The contents subjected to watermark information imbedding are distributed through a distribution path 3. An electronic watermark detector 2 detecting the watermark information imbedded to the contents from object digital contents detects the prescribed phase unchanged amount set to the contents on the basis of the predetermined part in the contents and outputs the watermark information corresponding to the detected prescribed phase unchanged amount.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 31.03.2003

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3431593

[Date of registration] 23.05.2003

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

書誌

- (19)【発行国】日本国特許庁(JP)
(12)【公報種別】公開特許公報(A)
(11)【公開番号】特開2002-142094(P2002-142094A)
(43)【公開日】平成14年5月17日(2002. 5. 17)
(54)【発明の名称】電子透かし埋込装置、電子透かし検出装置、電子透かし埋込方法、
電子透かし検出方法及び記録媒体
(51)【国際特許分類第7版】

H04N 1/387
G06T 1/00 500
G10L 11/00
H04N 1/40
7/08
7/081

【FI】

H04N 1/387
G06T 1/00 500 B
G10L 9/00 E
H04N 1/40 Z
7/08 Z

【審査請求】未請求

【請求項の数】29

【出願形態】OL

【全頁数】31

(21)【出願番号】特願2000-333725(P2000-333725)

(22)【出願日】平成12年10月31日(2000. 10. 31)

(71)【出願人】

【識別番号】000003078

【氏名又は名称】株式会社東芝

【住所又は居所】東京都港区芝浦一丁目1番1号

(72)【発明者】

【氏名】村谷 博文

【住所又は居所】神奈川県川崎市幸区小向東芝町1番地 株式会社東芝研究開発セ
ンター内

(74)【代理人】

【識別番号】100058479

【弁理士】

【氏名又は名称】鈴江 武彦(外6名)

【テーマコード(参考)】

5B057

5C063

5C076

5C077

【Fターム(参考)】

5B057 AA11 CA12 CA16 CB12 CB16 CB19 CC03 CD01 CE08

5C063 AB03 AB07 CA23 CA34

5C076 AA14 AA36 BA06

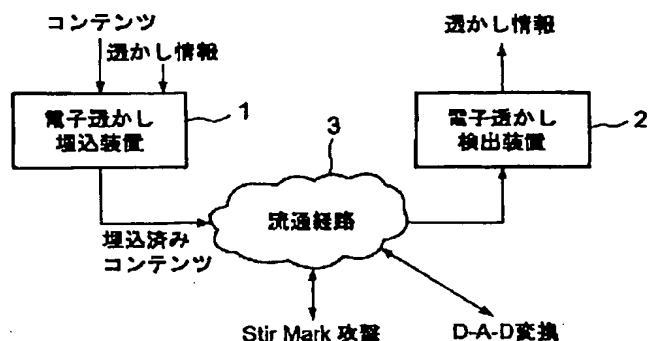
5C077 LL14 MP08 PP19 PP23

要約

(57)【要約】

【課題】 StirMark攻撃やD-A-D変換などの局所的変形に対する耐性を持った電子透かしシステムを提供すること。

【解決手段】 対象となるデジタル・コンテンツに透かし情報を埋め込む電子透かし埋込装置1は、コンテンツに埋め込むべき該透かし情報に対応する所定の位相不変量を入力し、該コンテンツの内容のうち透かし情報の埋め込みに供される部分を変更することによって、該コンテンツに該所定の位相不変量を設定する。透かし情報を埋め込まれたコンテンツは流通経路3を流通する。対象となるデジタル・コンテンツから該コンテンツに埋め込まれた透かし情報を検出する電子透かし検出装置2は、該コンテンツの内容のうち予め定められた部分に基づいて、該コンテンツに設定された所定の位相不変量を検出し、検出された該所定の位相不変量に対応する透かし情報を出力する。



請求の範囲

【特許請求の範囲】

【請求項1】 対象となるデジタル・コンテンツに透かし情報を埋め込む電子透かし埋込装置において、前記コンテンツに埋め込むべき前記透かし情報に対応する所定の位相不変量を得るための手段と、前記コンテンツの内容のうち前記透かし情報の埋め込みに供される部分を変更することによって、該コンテンツに前記所定の位相不変量を設定するための設定手段とを備えたことを特徴とする電子透かし埋込装置。

【請求項2】前記設定手段は、前記コンテンツの内容を構成する各々の空間的およびまたは時間的な位置に対応するビット列の所定部分に、それぞれ該位置及び前記所定の位相不変量に応じて定まる対象値またはこれを復元可能な値を設定することを特徴とする請求項1に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項3】前記設定手段は、前記コンテンツの内容を空間的およびまたは時間的に分割した各々の分割領域について、該分割領域の内容を構成する1または複数の空間的およびまたは時間的な位置に対応するビット列の所定部分から得られる該分割領域を代表する代表値が、該分割領域を代表する空間的およびまたは時間的な位置及び前記所定の位相不変量に応じて定まる対象値またはこれを復元可能な値になるように、該1または複数のビット列の所定部分の値を設定することを特徴とする請求項1に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項4】複数の前記位置に対応するビット列で1つの前記分割領域の内容を構成する場合に、前記代表値は、該複数のビット列の所定部分の値を平均したものであることを特徴とする請求項3に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項5】前記設定手段は、前記コンテンツにおける前記空間的およびまたは時間的な位置で定義される基底位相空間から、前記ビット列の所定部分で定義される対象位相空間への写像を与える所定の関数であって、前記所定の位相不変量を与える関数に基づいて、前記位置に対応する前記対象値を求めることを特徴とする請求項2または3に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項6】前記関数は、前記所定の位相不変量をパラメータとして持つものであることを特徴とする請求項5に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項7】前記設定手段は、予め用意された複数の異なる関数をそれぞれ用いて前記コンテンツに対する前記所定の位相不変量の設定を行ったとした場合に該コンテンツの内容に与える影響を評価し、該コンテンツの内容に与える影響を最小にすると評価される関数を前記所定の関数として用いることを特徴とする請求項5に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項8】前記対象値を復元可能な値は、該対象値をスケール倍したものであり、前記設定手段は、前記位置に対応する前記対象値毎に、前記コンテンツの内容に与える影響を小さくするように、前記対象値をスケール倍する際の倍率を選択することを特徴とする請求項2または3に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項9】同一の透かし情報を埋め込むべきコンテンツが、複数の部分コンテンツに分割可能なコンテンツである場合に、該複数の部分コンテンツの各々に対して、該透かし情報に対応する同一の位相不変量を設定することを特徴とする請求項1に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項10】同一の透かし情報を埋め込むべきコンテンツが、複数の部分コンテンツに分割可能なコンテンツである場合に、該複数の部分コンテンツの各々に対して、該透かし情報に基づいて生成した疑似乱数に従う値を当該部分コンテンツに対する位相不変量として設定することを特徴とする請求項1に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項11】前記コンテンツは、静止画または動画フレームの画像データであり、前記位置は、画像データにおける画素位置であり、前記ビット列は、画像データにおける画素値ベクトルであることを特徴とする請求項1に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項12】前記コンテンツは、動画画像データであり、前記位置は、動画画像データに

おける時間軸を考慮した画素位置であり、前記ビット列は、動画像データにおける画素値ベクトルであることを特徴とする請求項1に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項13】前記コンテンツは、音声データであり、前記位置は、音声データにおける時間的サンプリング位置であり、前記ビット列は、音声データにおける振幅値ベクトルであることを特徴とする請求項1に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項14】前記所定の位相不変量は、ホモトピー不変量であることを特徴とする請求項1に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項15】対象となるデジタル・コンテンツから該コンテンツに埋め込まれた透かし情報を検出する電子透かし検出装置において、前記コンテンツの内容のうち前記透かし情報の埋め込みに供された部分に基づいて、該コンテンツに設定された所定の位相不変量を検出するための検出手段と、検出された前記所定の位相不変量に対応する透かし情報を出力するための手段とを備えたことを特徴とする電子透かし検出装置。

【請求項16】前記検出手段は、前記コンテンツの内容を空間的およびまたは時間的に分割した各々の分割領域について、該分割領域の内容を構成する1または複数の空間的およびまたは時間的な位置に対応するビット列の所定部分から読み取った値に基づいて該分割領域を代表する代表値を求め、各分割領域を代表する代表値に基づいて、前記所定の位相不変量を求めることを特徴とする請求項15に記載の電子透かし埋込装置。

【請求項17】複数の前記位置に対応するビット列で1つの前記分割領域の内容を構成する場合に、前記代表値は、該複数のビット列の所定部分の値を平均したものであることを特徴とする請求項16に記載の電子透かし検出装置。

【請求項18】前記検出手段は、前記分割領域の代表値を規準化した対象値を求め、該対象値および該対象値の差分により与えられる所定の総和演算を行うことによって前記所定の位相不変量を求めることを特徴とする請求項16に記載の電子透かし検出装置。

【請求項19】同一の透かし情報を埋め込むべきコンテンツが、複数の部分コンテンツに分割可能なコンテンツである場合に、該複数の部分コンテンツの各々から位相不変量を検出し、該位相不変量の列に基づいて前記透かし情報を求めることを特徴とする請求項15に記載の電子透かし検出装置。

【請求項20】前記コンテンツは、静止画または動画フレームの画像データであり、前記位置は、画像データにおける画素位置であり、前記ビット列は、画像データにおける画素値ベクトルであることを特徴とする請求項15に記載の電子透かし検出装置。

【請求項21】前記コンテンツは、動画像データであり、前記位置は、動画像データにおける時間軸を考慮した画素位置であり、前記ビット列は、動画像データにおける画素値ベクトルであることを特徴とする請求項15に記載の電子透かし検出装置。

【請求項22】前記コンテンツは、音声データであり、前記位置は、音声データにおける時間的サンプリング位置であり、前記ビット列は、音声データにおける振幅値ベクトルであることを特徴とする請求項15に記載の電子透かし検出装置。

【請求項23】前記所定の位相不変量は、ホモトピー不変量であることを特徴とする請求項15に記載の電子透かし検出装置。

【請求項24】対象となるデジタル・コンテンツに透かし情報を埋め込む電子透かし埋

込方法において、前記コンテンツに埋め込むべき前記透かし情報に対応する所定の位相不変量を入力し、前記コンテンツの内容のうち前記透かし情報の埋め込みに供される部分を変更することによって、該コンテンツに前記所定の位相不変量を設定することを特徴とする電子透かし埋込方法。

【請求項25】対象となるデジタル・コンテンツから該コンテンツに埋め込まれた透かし情報を検出する電子透かし検出方法において、前記コンテンツの内容のうち前記透かし情報の埋め込みに供された部分に基づいて、該コンテンツに設定された所定の位相不変量を検出し、検出された前記所定の位相不変量に対応する透かし情報を出力することを特徴とする電子透かし検出方法。

【請求項26】対象となるデジタル・コンテンツに透かし情報を埋め込む電子透かし埋込装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体であって、前記コンテンツに埋め込むべき前記透かし情報に対応する所定の位相不変量を得るための機能と、前記コンテンツの内容のうち前記透かし情報の埋め込みに供される部分を変更することによって、該コンテンツに前記所定の位相不変量を設定するための機能とを実現させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体。

【請求項27】対象となるデジタル・コンテンツから該コンテンツに埋め込まれた透かし情報を検出する電子透かし検出装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体であって、前記コンテンツの内容のうち前記透かし情報の埋め込みに供された部分に基づいて、該コンテンツに設定された所定の位相不変量を検出するための機能と、検出された前記所定の位相不変量に対応する透かし情報を出力するための機能とを実現させるためのプログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体。

【請求項28】対象となるデジタル・コンテンツに透かし情報を埋め込む電子透かし埋込装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムであって、前記コンテンツに埋め込むべき前記透かし情報に対応する所定の位相不変量を得るための機能と、前記コンテンツの内容のうち前記透かし情報の埋め込みに供される部分を変更することによって、該コンテンツに前記所定の位相不変量を設定するための機能とを含むプログラム。

【請求項29】対象となるデジタル・コンテンツから該コンテンツに埋め込まれた透かし情報を検出する電子透かし検出装置としてコンピュータを機能させるためのプログラムであって、前記コンテンツの内容のうち前記透かし情報の埋め込みに供された部分に基づいて、該コンテンツに設定された所定の位相不変量を検出するための機能と、検出された前記所定の位相不変量に対応する透かし情報を出力するための機能とを含むプログラム。

詳細な説明

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、デジタル・データ化された静止画データ、動画データ、音声データ、音楽データ等のコンテンツに対して透かし情報を埋め込む電子透

かし埋込装置及び電子透かし埋込方法並びにコンテンツから透かし情報を検出する電子透かし検出装置及び電子透かし検出方法に関する。

【0002】

【従来の技術】電子透かし(digital watermarking)は、デジタルデータ化された静止画、動画、音声、音楽等のコンテンツに対して、コンテンツの著作権者や利用者の識別情報、著作権者の権利情報、コンテンツの利用条件、その利用時に必要な秘密情報、コピー制御情報などの情報(これらを透かし情報と呼ぶ)を知覚が容易ではない状態となるように埋め込み、後に必要に応じて透かし情報をコンテンツから検出することによって利用制御、コピー制御を含む著作権保護を行ったり、二次利用の促進を行うための技術である。

【0003】[電子透かしの要件]不正利用の防止を目的とする場合、電子透かし技術は、そのデジタル著作物に対して通常に施されると想定される各種の操作や意図的な攻撃によって、透かし情報が消失したり改竄されたりしないような性質(robustness:ロバスト性)を持つ必要がある。電子透かしの応用によっては、一旦アナログ信号となったコンテンツを再びデジタル化した場合にも、透かし情報が消失しないことが望ましいことがある。例えば、透かし情報としてコピー制御情報を埋め込む応用がそうである。また、他の例としては、静止画に著作権情報を埋め込んだ場合、静止画を印刷出力し(場合によってはこれをコピーし)、さらにスキャナでデジタル化した場合にも、透かし情報が消失しないことが望ましい。

【0004】[StirMark]これらのD-A-D変換は、図32の(a)から(b)の変化に示すように、画像に対して幾何学的歪みを生じさせると考えられている。このような幾何学的な歪みをシミュレーションして再現するソフトウェアとしてStirMarkが知られている。StirMark攻撃は、画素の位置を変えてしまうため、電子透かし方式によっては、検出時に埋め込みが行われた画素の位置を厳密に知ることが出来ず、正しく透かし情報が読み取れないという問題が生ずる。

【0005】[StirMark耐性]周波数領域利用型の電子透かしでは、画像に対する幾何学的変形が微小である限り、周波数成分はあまり大きく変化しないので、StirMark攻撃に対する耐性が比較的高いと思われる。しかし、図33の点線から実線への変化に示すように、幾何学的変形が大きな場合や、変形が小さくとも画像のサイズが大きいため埋め込んだブロックの位置が大きく移動する場合には、正しい検出は難しくなる。一方、空間領域利用型の電子透かしでは、画素毎に擬似乱数の乗積やマスクパターンの重畳が行われるため、StirMark攻撃によって画素位置が移動した場合、何らかの方法で、厳密な画素位置の同期を行わなければ、正しい検出は難しくなる。

【0006】[幾何学的変形]幾何学的な変形は、2つに大別される。それらは、大域的変形と、局所的変形である。

【0007】ここで、大域的変形は、位置によらないパラメータによって表現される変形であり、局所的変形は、局所的に異なるパラメータによって表現される変形である、という意味である(局所的変換とは、変形が局所的な領域に限定されているという意味ではない)。すなわち、大域的変換は、局所的変換の特殊な場合に相当する。

【0008】大域的変形は、画像全体のスケーリング、回転、平行移動であり、アフィン変換として表現することができる。アフィン変換は、次式のように6つのパラメータで表現される。

【0009】

【数1】

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix}$$

【0010】一方、局所的変換は、次式のように2次元の一般座標変換である。ここで、 f と g は任意の関数である。

【0011】

【数2】

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f(x, y) \\ g(x, y) \end{pmatrix}$$

【0012】なお、図34の(a)に長方形を局所的変形した様子を示し、(b)に長方形の局所的変形をパッチごとにアフィン変換で近似した様子を示す。

【0013】[大域的変形への対策]従来、大域的変形に対する同期の方法として、原画像を利用するものとそうでないものがある。原画像を利用する場合には、人手によって検出対象画像と原画像が一致するように大域的な変換を行うか、あるいは、画像間の画素値の相関によって最も相関値の大きな変換を探索する。電子透かし方式には、検出時に原画像を利用しない方法も多数提案されているので、原画像を利用することなく、原画像と検出対象画像の同期を回復することが必要となる。同期の方法は、以下の4つの方式に大別される(例えば、文献(1)Kutter Martin, "Towards Affine Invariant Image Watermarking Schemes, "Watermarking Workshop, 1999. 参照)。

(1)Template based watermarking (2)Invariant watermarking (3)Self-reference watermarking (4)Feature watermarking [Template watermarking] 周波数領域あるいは空間領域のいずれかに画像の変形を知るための信号(テンプレート)を埋め込む方法を「テンプレート・ウォーターマーキング(template watermarking)」と呼ぶ(例えば、文献(2)Bender, W., D. Gruhl, N. Morimoto and A. Lu, "Techniques for data hiding, " IBM Systems Journal, 35, 3&4, 313-336, 1996.、(3)Fleet, David J. and David J. Heeger, "Embedding Invisible Information in Color Images, " ICIIP'97, 532-535, 1997.、(4)Rhoads, Geoffrey B., "Steganography methods employing embedded calibration data, " United State Patent, 5, 636, 292, 1997.、(5)Pereira, Shelby and Thierry Pun, "Fast Robust Template Matching for Affine Resistant Image Watermarking, " The Third Workshop on Information Hiding, 207-218, 1999.)。この方式は、テンプレートによる画質劣化を抑えつつロバスト性を維持することが難しいことが欠点である。

【0014】[Invariant watermarking]幾何学的改変に不変な領域に電子透かしを埋め込む方法を「インバリアント・ウォーターマーキング(Invariant watermarking)」と呼ぶ(例えば、文献(6)O Ruanaidh, Joseph J. K. and Thierry Pun, "Rotation, scale and transformation invariant digital image watermarking, " Proceedings of ICIIP'97, 536-539, 1997.、(7)O Ruanaidh, Joseph J. K. and Thierry Pun, "Rotation, scale and transformation invariant spread s

pectrum digital imagewatermarking, " Signal Processing, 66, 303-317, 1998.)。この方法は、一様なスケール変換や回転に対してのみ有効で、アスペクト比を変える変換には不変ではない。

【0015】[Self-reference watermarking]電子透かし自体をテンプレートとして利用する方法を「セルフリファレンス・ウォーターマーキング(Self-reference watermarking)」と呼ぶ(例えば、文献(8)Kutter, M., F. Jordan and F. Bossen, "Digital signature of color images using amplitude modulation, " Proc. of SPIE storage and retrieval for image and video database, 3022-5, 518-526, Feb. 1997; Journal of Electronic Imaging, 7, 2, 326-332, April 1998.)。この方法では、画像中に参照点を定義して、あらかじめ決められた値の電子透かしを埋め込んでおき、検出時は、全探索によって参照点を求めてから他の透かし情報を抽出する。回転のみや平行移動のみ、スケール変換のみといった場合には、比較的短い時間で検出ができるが、探索空間が大きくなると、計算コストが大き過ぎる。探索空間がさらに大きな局所変換に対しての適用は難しい。この方法を発展させたものとして、同じ電子透かしを水平、垂直にシフトさせた位置に複数回埋め込むことで補正信号として利用する方式がある(例えば、文献(9)Kutter, M, "Watermarking resisting to translation, rotation, and scaling, " Proceeding of SPIE International Symposium on Voice, Video, and Data Communications, 1998.)。また、セルフリファレンス・ウォーターマーキングにおいて、幾何学的変形を平行移動と切り取りに限定して、電子透かしパターンのフーリエ変換係数の位相から平行移動量を求めることで探索のコストを削減する方法がある(例えば、文献(10)中村高雄, 小川宏, 富岡淳樹, 高嶋洋一, "電子透かしにおける平行移動・切り取り耐性向上の一手法, " SCIS'99, 193-198 1999.)。また、セルフリファレンス・ウォーターマーキングにおいて、画像を小さなブロックに分割し、画像の歪みをブロックの平行移動で近似する方法がある(例えば、文献(1))。以上の3つの改良は、いずれも大域的な変形に対するもので、局所的な変形に対しては、やはり、探索コストが大きすぎるため、有効ではない。

【0016】

【発明が解決しようとする課題】以上説明してきたように、従来の電子透かしは、D-A-D変換やStirMark攻撃などによって透かし情報が失われたり偽造されたりすることで、埋め込まれているコピー制御情報や著作権情報などの透かし情報が検出できなくなるおそれがある。また、大域的変形に対する耐性に関して、いくつかの従来技術はあるが、そのままでは、StirMark攻撃やD-A-D変換などの局所変形に対して有効ではない。また、大域的変形に対する対策を無理に局所変形に適用しようとするれば膨大な処理時間がかかることが予想される。さらに、局所変形が大きくなると大域的変形に対する対策は有効では無くなる。

【0017】本発明は、上記事情を考慮してなされたもので、StirMark攻撃やD-A-D変換などの局所変形に対する耐性を持った電子透かし埋込装置及び電子透かし検出装置並びに電子透かし埋込方法及び電子透かし検出方法を提供することを目的とする。

【0018】

【課題を解決するための手段】本発明は、対象となるデジタル・コンテンツに透かし情

報を埋め込む電子透かし埋込装置において、前記コンテンツに埋め込むべき前記透かし情報に対応する所定の位相不変量を得るための手段と、前記コンテンツの内容のうち前記透かし情報の埋め込みに供される部分を変更することによって、該コンテンツに前記所定の位相不変量を設定するための設定手段とを備えたことを特徴とする。

【0019】また、本発明は、対象となるデジタル・コンテンツに透かし情報を埋め込む電子透かし埋込方法において、前記コンテンツに埋め込むべき前記透かし情報に対応する所定の位相不変量を入力し、前記コンテンツの内容のうち前記透かし情報の埋め込みに供される部分を変更することによって、該コンテンツに前記所定の位相不変量を設定することを特徴とする。

【0020】好ましくは、前記設定手段は、前記コンテンツの内容を空間的およびまたは時間的に分割した各々の分割領域について、該分割領域の内容を構成する1または複数の空間的およびまたは時間的な位置に対応するビット列の所定部分から得られる該分割領域を代表する代表値が、該分割領域を代表する空間的およびまたは時間的な位置及び前記所定の位相不変量に応じて定まる対象値またはこれを復元可能な値になるように、該1または複数のビット列の所定部分の値を設定するようにしてもよい。

【0021】好ましくは、前記設定手段は、前記コンテンツにおける前記空間的およびまたは時間的な位置で定義される基底位相空間から、前記ビット列の所定部分で定義される対象位相空間への写像を与える所定の関数であって、前記所定の位相不変量を与える関数に基づいて、前記位置に対応する前記対象値を求めるようにしてもよい。

【0022】本発明は、対象となるデジタル・コンテンツから該コンテンツに埋め込まれた透かし情報を検出する電子透かし検出装置において、前記コンテンツの内容のうち前記透かし情報の埋め込みに供された部分に基づいて、該コンテンツに設定された所定の位相不変量を検出するための検出手段と、検出された前記所定の位相不変量に対応する透かし情報を出力するための手段とを備えたことを特徴とする。

【0023】また、本発明は、対象となるデジタル・コンテンツから該コンテンツに埋め込まれた透かし情報を検出する電子透かし検出方法において、前記コンテンツの内容のうち前記透かし情報の埋め込みに供された部分に基づいて、該コンテンツに設定された所定の位相不変量を検出し、検出された前記所定の位相不変量に対応する透かし情報を出力することを特徴とする。

【0024】好ましくは、前記検出手段は、前記コンテンツの内容を空間的およびまたは時間的に分割した各々の分割領域について、該分割領域の内容を構成する1または複数の空間的およびまたは時間的な位置に対応するビット列の所定部分から読み取った値に基づいて該分割領域を代表する代表値を求め、各分割領域を代表する代表値に基づいて、前記所定の位相不変量を求めるようにしてもよい。

【0025】好ましくは、前記検出手段は、前記分割領域の代表値を規準化した対象値を求め、該対象値および該対象値の差分により与えられる所定の総和演算を行うことによって前記所定の位相不変量を求めるようにしてもよい。

【0026】前記コンテンツは例えば静止画または動画フレームの画像データであり、この場合に、前記位置は例えば画像データにおける画素位置であり、前記ビット列は例

例えば画像データにおける画素値ベクトルである。また、例えば、前記コンテンツは動画データであり、前記位置は動画データにおける時間軸を考慮した画素位置であり、前記ビット列は動画データにおける画素値ベクトルである。また、例えば、前記コンテンツは音声データであり、前記位置は音声データにおける時間的サンプリング位置であり、前記ビット列は音声データにおける振幅値ベクトルである。なお、ここでの音声データとは、もちろん、人間の音声だけでなく、音楽や他の音も含んで構わない。

【0027】位相不変量としては、例えば、ホモトピー不変量を用いることができる。また、位相不変量としては、ホモロジー群、コホモロジー群、あるいは、ベクトル束におけるStiefel-Whitney類、Chern類、Pontryagin類といった特性類(characteristic class)、多様体のEuler数、指数(index)や符号数(signature)、結び糸に関するAlexander不変量、あるいは、絡み糸に関するMilnor不変量などを用いることもできる。

【0028】なお、装置に係る本発明は方法に係る発明としても成立し、方法に係る本発明は装置に係る発明としても成立する。また、装置または方法に係る本発明は、コンピュータに当該発明に相当する手順を実行させるための(あるいはコンピュータを当該発明に相当する手段として機能させるための、あるいはコンピュータに当該発明に相当する機能を実現させるための)プログラムを記録したコンピュータ読取り可能な記録媒体としても成立する。

【0029】本発明では、対象となるデジタル・コンテンツ(例えば、画像データ)に透かし情報を埋め込む際、対象コンテンツに埋め込むべき透かし情報に対応する所定の位相不変量(例えば、ホモトピー不変量)を得て、対象コンテンツの内容のうち予め定められた部分を変更することによって、該コンテンツに該位相不変量を設定する。また、本発明では、対象となるデジタル・コンテンツから該コンテンツに埋め込まれた透かし情報を検出する際、対象コンテンツの内容のうち予め定められた部分に基づいて、該コンテンツに設定された所定の位相不変量を検出し、検出された該所定の位相不変量に対応する透かし情報を出力する。例えば、透かし情報としてコピー可を指示する制御情報を埋め込む際に、例えばホモトピー類の全体が整数全体 \mathbb{Z} と同型である場合に、ホモトピー類 $=+1$ (もちろん、 $+1$ 以外の値でもよい)となるように画素値を変更し、コピー不可とする場合に、ホモトピー類 $=-1$ (もちろん、 -1 以外の値でもよい)となるように画素値を変更する。また、例えば、透かし情報として著作権者等の識別番号を埋め込む場合に、識別番号1が指定されたならば、ホモトピー類 $=1$ (もちろん、 1 以外の値でもよい)となるように画素値を変更し、識別番号2が指定されたならば、ホモトピー類 $=2$ (もちろん、 2 以外の値でもよい)となるように画素値を変更する。

【0030】本発明によれば、埋め込むべき透かし情報に対応する位相不変量を対象コンテンツに設定するようにしたので、たとえ流通経路などでStirMark攻撃やD-A-RD変換などの局所的変形を受けてもコンテンツに設定した位相不変量は維持・保存される。そして、局所的変形を受けたか否かにかかわらずコンテンツから正しい位相不変量を検出し、対応する正しい透かし情報を得ることができる。

【0031】また、コンテンツのビット列の変化が小さくなるように位相不変量を表現するデータを書き込むことによって、なるべくコンテンツに影響を与えないようにすることができる。

【0032】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照しながら発明の実施の形態を説明する。

【0033】本発明は、コンテンツ(例えば、デジタルデータ化された静止画、動画、音声、音楽等)に対して様々な透かし情報(例えば、コンテンツの著作権者や利用者の識別情報、著作権者の権利情報、コンテンツの利用条件、その利用時に必要な秘密情報、コピー制御情報等、あるいはそれらを組み合わせたものなど)を様々な目的(例えば、利用制御、コピー制御を含む著作権保護、二次利用の促進等)で埋め込み、検出する場合に適用可能である。

【0034】図1に、本発明の実施の形態に係る電子透かし埋込装置と電子透かし検出装置が適用されるシステムの概念図を示す。

【0035】電子透かし埋込装置1は、埋め込み対象となるコンテンツに透かし情報を埋め込むもので、対象コンテンツとこれに埋め込むべき透かし情報とが入力され、電子透かし情報埋め込み済みコンテンツを出力する。電子透かし埋込装置1は、コンテンツ提供側に備えられ、管理される。

【0036】電子透かし埋込装置1により得られた電子透かし情報埋め込み済みコンテンツは、記憶媒体や通信媒体などを媒介とした流通経路3を経て流通する。その際、流通経路3では、コンテンツに対してStirMark攻撃やD-A-D変換などの局所的変換がなされることがある(局所的変換は、ユーザの故意によってなされることがあるし、ユーザの故意あるいは認識なくしてなされることがある)。

【0037】電子透かし検出装置2は、検出対象となるコンテンツから透かし情報を検出するもので、対象コンテンツが入力され、検出された透かし情報を出力する。電子透かし検出装置2は、コンテンツ利用時の著作権保護を目的としてユーザ側のコンテンツ利用装置に内蔵される場合や、コンテンツ提供側が流通を経たコンテンツから電子透かしを検出することを目的としてコンテンツ提供側に備えられる場合がある。

【0038】本実施形態では、詳しくは後述するように、電子透かし埋込装置1は、StirMark攻撃やD-A-D変換などがなされても透かし情報の内容が維持・保存されるように透かし情報を埋め込むので、流通経路3においてコンテンツに対してStirMark攻撃やD-A-D変換などがなされても、電子透かし検出装置2は、電子透かし埋込装置1で埋め込まれた透かし情報を正しく検出することができる。

【0039】なお、本実施形態では、電子透かし埋込装置1にはデジタル・コンテンツが入力され、電子透かし検出装置2からはデジタル・コンテンツが出力されるものとして説明するが、電子透かし埋込装置1に、入力されたアナログ・コンテンツを透かし情報の埋め込みに先立ってデジタル・コンテンツに変換する機能を搭載してもよいし、およびまたは、電子透かし検出装置2に、入力されたアナログ・コンテンツを透かし情報の検出に先立ってデジタル・コンテンツに変換する機能を搭載してもよい。

【0040】電子透かし埋込装置1は、ソフトウェア(プログラム)としてもハードウェアとしても実現可能である。同様に、電子透かし検出装置2は、ソフトウェア(プログラム)としてもハードウェアとしても実現可能である。電子透かし埋込装置1および電子透かし検出装置2をコンテンツ提供側で用いる場合には、それらを一体化して実現することも可能である。電子透かし検出装置2をユーザ側のコンテンツ利用装置に内蔵する場合には、ユーザにより電子透かし検出装置2に対する操作や解析あるいは攻撃などができないように安全に作り込んでおくのが望ましい。

【0041】なお、以下で示す構成図は、装置の機能ブロック図としても成立し、また、ソ

ソフトウェア(プログラム)の機能モジュール図あるいは手順図としても成立するものである。

【0042】本実施形態では、デジタル・コンテンツの一例として主に(静止)画像データを対象とした場合を例にとって説明する。もちろん、他のメディアのデータを対象とすることも可能である。なお、StirMark攻撃やD-A-D変換などの局所的変形は、例えば、静止画の場合には静止画データの幾何学的変形であり、音声の場合には音声データの時間軸方向の変形である。また、動画像については、フレーム単位で処理する場合には、局所的変形は、静止画と同様にデータの幾何学的変形であり、複数フレームにわたって時間的位置を考慮して処理する場合にはデータの幾何学的変形および時間軸方向の変形(時空間的変形)である。

【0043】さて、本発明は透かし情報を位相不変量(topological invariant)としてコンテンツに埋め込む(例えば対象コンテンツから得られる位相不変量が透かし情報に対応する値になるように対象コンテンツの画素値等を操作する)ことによって、StirMark攻撃やD-A-D変換などの局所的変形に対して耐性を持つようにしたものであり、本実施形態では位相不変量の一例としてホモトピー不変量(homotopy invariant)を用いた構成例について説明する。最初に、位相不変量やホモトピー不変量やホモトピー類などの概念について説明する。

【0044】[数学的準備]まず、本発明に関係する数学上の概念について述べる。

【0045】ある集合 S が位相空間(topological space)であるとは、次の3つの条件を満たす部分集合の集まり U を与えることができることをいう。

- (1)「空集合とその集合 S が部分集合の集まり U の中に含まれている。」
- (2)「 U の要素の共通部分はやはり U の要素である。」
- (3)「 U の任意の数の要素の和集合は U の要素である。」

U の元は開集合(open set)と呼ばれ、 U を S 上の位相(topology)という。

【0046】位相空間 X において、 X の各点 x に対して、 X の部分集合の集合 $U(x)$ が x の近傍系であるとは、次の4つが成立する場合である。

【0047】

【数3】

- (1)「 $U \in U(x)$ ならば、 $x \in U$ 」
- (2)「 $U_1, U_2 \in U(x)$ ならば、 $U_1 \cap U_2 \in U(x)$ 」
- (3)「 $U \in U(x)$ 、 $U \subset V$ ならば、 $V \in U(x)$ 」
- (4)「 $U \in U(x)$ に対して、すべての $y \in U$ に対して
 $U \in U(y)$ 」の成立するような $W \in U(x)$ が存在する」

【0048】 $U(x)$ に属する部分集合 U を x の近傍という。位相空間 X を定義域とし、値域が位相空間 Y に含まれる写像 f が X の点 a において連続であるとは、 $f(a)$ の任意の近傍に対して、 a のある近傍 U を適当に選ぶと、 $V \supset f(U)$ が成立することをいう。

【0049】写像 f が位相空間 X の各点で連続であるとき、写像 f は、位相空間 X で連続、または、連続写像と呼ばれる。2つの位相空間の間の連続写像が全単射で、その逆写像も連続であるとき、このような写像を同相写像(homeomorphism)という。2つの位相空間の間に同相写像が存在する場合、それらは同相(homeomorphis)であるといわれる。互いに同相な空間に共通な性質は、位相的性質、あるいは、位相不変量(topological invariant)と呼ばれる。

【0050】閉区間 $[0, 1]$ を I で表す。 X, Y を位相空間として、 f_0 と f_1 を $X \rightarrow Y$ の連続写像とする。このとき、 f_0 が f_1 にホモトピックであるとは、連続写像 $F: X \times I \rightarrow Y$ が存在して、すべての $x \in X$ について $F(x, 0) = f_0(x)$ 、 $F(x, 1) = f_1(x)$ が成り立つことをいう。 f_0 が f_1 にホモトピックであることを次のように記す。

【0051】

【数4】

$$f_0 \sim f_1$$

【0052】また、写像 F を、 f_0 から f_1 へのホモトピーという。

【0053】ホモトピックな任意の2つの写像に対して、同じ値を持つ量をホモトピー不変量(homotopy invariant)という。ホモトピックな関係は、 X から Y への連続写像全体上の同値関係である。これによって類別した各類 $[f]$ を f のホモトピー類(homotopy class)という。なお、後で利用する $\pi_n(S^n)$ は整数全体と同型であるので、この場合には、ホモトピー類は、整数値(正の整数、または0、または負の整数)である。 X から Y への写像のホモトピー類全体をホモトピー集合(homotopy set)という。この場合、ホモトピー集合は、 $\pi(X; Y)$ で表される。

【0054】 X から Y への写像 f と Y から Z への写像 g の合成 $g \circ f$ について、 $f^*[g] = [g \circ f]$ によってホモトピー集合間の写像 $f^*: \pi(Y; Z) \rightarrow \pi(X; Z)$ を定義できる。また、次の関係が成り立つ。

【0055】

【数5】

$$f = f' \text{ ならば、 } f^* = f'^* \text{ である。}$$

【0056】位相空間の1点を定め基点(base point)と呼ぶ。連続写像は、基点を基点へ写すものだけを考える。

【0057】 I_n を n 次元立方体とする。その境界を ∂I_n とする。位相空間 X とその基点 $*$ に対して、 $\Omega_n(X, *)$ を I_n から X への写像のうち、 ∂I_n が $*$ に写されるものの集合とする。 $\Omega_n(X, *)$ における弧状連結成分(その中の任意の2点に対して、一方を始点、他方を終点とする道(パラメータづけされた曲線)が存在する。)(ホモトピー類) $[f]$ の全体を、 $\pi_n(X, *)$ または、基点のとり方によらない場合には、単に、 $\pi_n(X)$ と記す。

【0058】 $\pi_n(X, *)$ は群をなし、 $*$ を基点とするホモトピー群(homotopy group)と呼ばれる。

【0059】 I と ∂I の代わりに、 n 次元球面とその上の1点によって上のホモトピー群を定義することもある。例えば、 X が n 次元球面 S^n である場合、 n 次元ホモトピー群として、 $\pi_n(S^n) = \mathbb{Z}$ が成り立つ。ここで、 \mathbb{Z} は無限度の巡回群を表すとする。

【0060】2つの位相空間 X, X' の間に写像 $f: X \rightarrow X'$ 、 $g: X' \rightarrow X$ が存在し、 $g \circ f$ と $f \circ g$ がそれぞれ恒等写像にホモトープなとき、 X, X' はホモトピー同値(homotopy equivalent)であるといわれる。

【0061】位相空間 X にある量に対応し、ホモトピー同値な位相空間に同じ量に対応するとき、この量をホモトピー型不変量(homotopy type invariant)という。ホモトピー型不変量は位相不変量である。

【0062】位相空間 X に対して、 X から Y へのホモトピー集合はホモトピー型不変量であ

る。特に、 f が X から X への写像であって、恒等写像にホモトピックであるとき、それによって誘導される f は、ホモトピー集合における恒等写像となり、 f によってホモトピー類は不変である。

【0063】[数学的事実]本発明では、電子透かし技術にこの事実を利用する。つまり、2つの位相空間を X 、 Y 、その間の写像を g とする。 X から X への写像を f とし、 f は恒等写像にホモトピックであるとする。このとき、 f によって誘導されるホモトピー集合間の写像は恒等写像である。したがって、ホモトピー類は変らない。

【0064】以上の数学的概念は、本発明において、次のように実在の対象と対応付けられる。

【0065】例えば、デジタル・コンテンツとして静止画を透かし情報の埋め込み／検出対象として考えた場合に、その1枚の対象となる画像は、複数の画素の集まりによって構成されている。なお、動画像も、画像(＝複数の画素の集まり)がさらに複数集まって構成されているので、やはり画素の集まりである。

【0066】そして、画像を構成する画素は加算有限個しかないが、ここでは、理想化して、画像を位相空間として捉える。近傍や開集合は、画像を構成する画素の集合として捉える。

【0067】次に、画像には、必ず、端がある。例えば、静止画ならば、通常、2次元の矩形の領域であるので、上辺、下辺、左辺、右辺の4辺の境界がある。この端の取り扱いについては、いろいろな方法が考えられるが、ここでは、簡単のため、これらの境界上の点は同一点であるとする。これによって、静止画は、2次元球面 S^2 と同相な位相空間となる。

【0068】次に、静止画を構成する各画素は、その画素の色を表現する空間を持っている。例えば、輝度信号と色差信号という座標をもつ三次元空間の部分空間である。輝度信号と色差信号は離散値をとるが、この色空間も、理想化して、位相空間として捉える。

【0069】このように対応させることによって、(透かし情報の埋め込み／検出対象となる)1枚の画像は、画素の集合によって構成される位相空間 X から色空間の部分空間である位相空間 Y への写像と見なすことができるようになる。

【0070】特に、位相空間 X は、2次元球面と同相であるので、画像は、2次元球面から Y への写像と見なせる。そのような写像のホモトピー集合は、ホモトピー群 $\pi_2(Y)$ をなす。

【0071】画像に対する幾何学的改変は、位相空間 X を位相空間 X' に写す写像であると捉えられる。さらに、 X' も2次元球面と同相であるので、幾何学的改変は、2次元球面から2次元球面への写像と考えることができる。

【0072】[経験的事実]本発明で仮定する経験的な事実は、次のようなものである。画像に対するスケーリングや回転やStirMark攻撃のような局所的な変形等の幾何学的改変は、恒等写像とホモトピックな写像であるとする。仮に、恒等写像とホモトピックではない改変を行うと、画像は大きな影響を受けるため、それが持つ経済的な価値が損なわれるため、あまり行われない。よって、上の経験的な事実を仮定するならば、先の数学的な事実より、このような幾何学的改変はホモトピー類を不変に保つことが期待される。

【0073】次に、図2、図3に、1つのコンテンツ(例えば、静止画)に1つの位相不変量

(例えば、ホモトピー類)を埋め込む場合の処理手順の一例を示す。

【0074】図2に、位相不変量を用いた電子透かし埋め込みにおける処理手順の一例を示す。透かし情報埋め込み対象コンテンツに埋め込むべき不変量(例えば、ホモトピー類)が与えられる(ステップS1)。または、埋め込むべき透かし情報が与えられ、これに対応する不変量(例えば、ホモトピー類)が求められる。透かし情報埋め込み対象コンテンツとなるコンテンツ(例えば、画像データ)が与えられる(ステップS2)。コンテンツに対してその不変量を持つように(電子透かし検出装置が当該画像データ等のコンテンツからその不変量を検出するように)、当該コンテンツの内容(例えば、コンテンツが画像データの場合の画素値)の変更を行う(ステップS3)。透かし情報が埋め込まれたコンテンツ(例えば、画像データ)を出力する(ステップS4)。

【0075】図3に、位相不変量を用いた電子透かし検出における処理手順の一例を示す。透かし情報を検出する対象コンテンツ(例えば、画像データ)が与えられる(ステップS11)。コンテンツ(例えば、画像データ)に対してその内容(例えば、コンテンツが画像データの場合の画素値)から不変量を計算する(ステップS12)。

【0076】計算された不変量(例えば、ホモトピー類)を透かし情報として出力する(ステップS13)。または、計算された不変量(例えば、ホモトピー類)に対応する透かし情報を求めて、これを出力する。

【0077】次に、図4、図5に、複数の領域(例えば、フレーム)からなるコンテンツ(例えば、動画像)あるいは複数の領域(例えば、フレーム)に分割可能なコンテンツ(例えば、動画像)の各々の領域(例えば、フレーム)にそれぞれ位相不変量(例えば、ホモトピー類)を埋め込むことによって1つの位相不変量を埋め込む場合の処理手順の一例を示す。

【0078】図4に、位相不変量を用いた電子透かし埋め込みにおける処理手順の一例を示す。透かし情報埋め込み対象コンテンツに埋め込むべき不変量(例えば、ホモトピー類)が与えられる(ステップS21)。または、埋め込むべき透かし情報が与えられ、これに対応する不変量(例えば、ホモトピー類)が求められる。透かし情報埋め込み対象コンテンツ(例えば、動画像データ)が与えられる(ステップS22)。コンテンツを複数の領域(例えば、フレーム)に分割する(ステップS23)。各領域(例えば、フレーム)に対してその不変量を持つように(電子透かし検出装置が当該動画像データ等のコンテンツからその不変量を検出するように)、当該コンテンツの内容(例えば、各領域が動画像データのフレームの場合の画素値)の変更を行う(ステップS24)。透かし情報が埋め込まれた複数の領域(例えば、フレーム)を合わせたコンテンツ(例えば、動画像)を出力する(ステップS25)。図5に、位相不変量を用いた電子透かし検出における処理手順の一例を示す。透かし情報を検出する対象コンテンツ(例えば、動画像データ)が与えられる(ステップS31)。コンテンツを複数の領域(例えば、フレーム)に分割する(ステップS32)。各領域(例えば、フレーム)に対してその内容(例えば、各領域が動画像データのフレームの場合の画素値)から不変量を計算する(ステップS33)。

【0079】各領域(例えば、フレーム)毎に計算された不変量から最も正しいと推定される不変量の値を求める(ステップS34)。計算された最尤の不変量(例えば、ホモトピー類)を透かし情報として出力する(ステップS35)。または、計算された最尤の不変量(例えば、ホモトピー類)に対応する透かし情報を求めて、これを出力する。

【0080】さて、本実施形態では、電子透かし埋込装置1において、対象コンテンツに、埋め込むべき透かし情報に対応する位相不変量(具体例として、ホモトピー類の値)を付与し、電子透かし検出装置2において、対象コンテンツから、位相不変量を検出し、これに対応する透かし情報を求めるものである。その際、ホモトピー類の付与／検出の仕方には、種々の方法がある。以下では、それらのいくつかの例についてより詳しく説明していく。

【0081】(第1の構成例)まず、第1の構成例について説明する。

【0082】第1の構成例は、対象コンテンツが元々持っているホモトピー類aを検出し、これと埋め込むべき透かし情報に対応するホモトピー類bとの差(=ホモトピー類b-ホモトピー類a)をさらにこの対象コンテンツに付与するようにしたものである。

【0083】本実施形態の処理手順の一例は、基本的には、図2、図3と同様である。

【0084】図6に、本実施形態の電子透かし埋込装置の構成例を示す。

【0085】図6に示されるように、本実施形態の電子透かし埋込装置は、ホモトピー類計算部11と、ホモトピー類変更部12と、透かし情報・ホモトピー類変換部13を備えている。

【0086】透かし情報・ホモトピー類変換部13は、埋め込むべき透かし情報を入力し、これに対応するホモトピー類(透かし情報として埋め込むべきホモトピー類)を求める。例えば、透かし情報としてコピーの可否を示す制御情報を埋め込む場合に、埋め込むべき透かし情報としてコピー可が指定されたならば、ホモトピー類=+1を出力し、コピー禁止が指定されたならば、ホモトピー類=-1を出力する。また、例えば、透かし情報として著作権者等の識別番号を埋め込む場合に、埋め込むべき透かし情報として識別番号nが指定されたならば、ホモトピー類= $n \times C1 + C2$ を出力する(C1, C2は予め定められた定数(整数))。また、例えば、透かし情報としてコピーの可否を示す制御情報および利用者の識別番号を埋め込む場合に、埋め込むべき透かし情報としてコピー可および識別番号nが指定されたならば、ホモトピー類= $(n \times C3 + C4) \times (+1)$ を出力し、コピー禁止および識別番号nが指定されたならば、ホモトピー類= $(n \times C3 + C4) \times (-1)$ を出力する(C3, C4は予め定められた正の定数(整数))。もちろん、これらは一例であり、様々な方法がある。

【0087】なお、ホモトピー類の値は、正の整数、0、または負の整数であるが、透かし情報に用い得るホモトピー類の値として、隣接するもの同士を一定値(例えば2)以上離すようにしてもよい(なお、使用可能な全ホモトピー類の値を用いてもよい)。

【0088】また、数値で与えられた透かし情報を、ホモトピー類として用いる場合には、透かし情報・ホモトピー類変換部13は、不要である。

【0089】ホモトピー類計算部11は、詳しくは後述するように、入力された原画像に対して、ホモトピー類を計算して出力する。なお、検出されたホモトピー類の値が、整数でない場合には、所定の基準によって整数を選択すればよい(例えば最も近い整数を選択すればよい)。

【0090】ホモトピー類変更部12は、詳しくは後述するように、透かし情報として埋め込むべきホモトピー類と、ホモトピー類計算部11によって計算されたホモトピー類を入力され、透かし情報として埋め込むべきホモトピー類を持つように、原画像に対する変更を施した上で、埋め込み済み画像を出力する。

【0091】図7に、ホモトピー類計算部11の構成例を示す。

【0092】図7に示されるように、ホモトピー類計算部11は、領域分割部111、対象値計算部112、積分部113を備えている。

【0093】領域分割部111は、画像を複数の領域(例えば、ブロック)に分割し、それぞれの分割領域を代表する画素値(以下、代表画素値と呼ぶ)を計算する。以下では、1つの分割領域を1つのブロックにするものとして説明するが、もちろん、他の形態も可能である。ここで、ブロックは、1画素でもよいし、複数画素から構成されていてもよい。

【0094】なお、分割領域の代表座標値は、分割領域が1つの画素からなる場合には、当該画素の座標である。分割領域の複数の画素からなる場合には、分割領域の代表座標値は、例えば、分割領域の重心の座標値である。

【0095】なお、実際に透かし情報の埋め込みに用いるのは、画素値の全ビットではなく、そのうち、ノイズの影響を受けにくく、かつ、画像の画質に大きな影響を与えない、予め定められた特定の中間のビットプレーンの領域(通常は連続する複数ビット)を用いるのが望ましい。

【0096】ブロックが1画素の場合、代表画素値は、例えば、その画素値のうちから、上記の予め定められた特定の中間のビットプレーンの領域を抜き出した特定のビット列が示す値である。また、ブロックが複数画素から構成される場合、代表画素値は、例えば、上記の特定のビット列が示す値の当該複数画素についての平均値である。

【0097】1ブロックを構成する縦横の画素数や代表画素値の内容などを、適宜設定可能あるいはいくつかのうちから選択可能としてもよい。また、それらを予め一つの方法に固定してもよい。

【0098】図8の(a)は、画像を領域分割した様子を示しており、(b)は分割された領域に対する代表画素値が画素値の空間(以下、画素値の空間を色空間と呼ぶことにする)に射影された様子を示している。

【0099】対象値計算部112は、各分割領域(例えば、ブロック)の代表画素値を、(後述する対象空間上の)対象値と呼ばれる値に変換する。すなわち、分割領域毎の対象値を求める。図8の(b)は色空間において代表画素値から対象値に変換した様子を示している。

【0100】まず、代表画素値が後述する対象空間上に位置する場合について説明し、次に、代表画素値が対象空間上に位置せず、対象値計算部112による変換処理によって、代表画素値を対象空間上の対象値に変換する場合について説明する。

【0101】例えば、透かし情報埋め込み対象画像は、2次元空間中の有限領域であるが、画像の周辺部を1点と見なすことで、画像は2次元球面 S^2 と同一視できる。以下、この空間を基底空間と呼ぶことにする(図8(a)参照)。図9に、基底空間を2次元球面と同一視する様子を表す。

【0102】一方、色空間は、例えば、RGBの3つの座標で表現される3次元空間の有限領域である。(画像の元々の画素はそれぞれ例えば8階調の空間であり、透かし情報のために用いる階調はそれ以下であり、いずれにしても、)ここで扱う色空間は有限階調であるが、近似的に、これを連続的な空間であるとみなすものとする。これにより、色空間は、3次元ユークリッド空間(R^3)中の有限領域である。この色空間 R^3 の中に2次元球面 S^2 (図8(b)参照)をとる。以下、この空間を対象空間と呼ぶことにする。

【0103】具体的に、対象空間としては、画素値のうち、ノイズの影響を受けにくく、かつ、画像の画質に大きな影響を与えない中間のビットプレーンの領域を選択し、その中間ビットプレーンの領域中に2次元球面を埋め込んでおくことによって設定することができる。

【0104】上の見方により、基底空間の各点に対して対象空間が貼り付けられており、画像は基底空間の各点において、対象空間中の一点が割り当てられていることになる。この様子を、図10に表す。

【0105】このようにして、一つの画像は、 S^2 から S^2 への写像として定義される。このような写像のホモトピー群の類は、 $\pi_2(S^2) = \mathbb{Z}$ で与えられることが知られている。ここで、 \mathbb{Z} は、整数全体である。そこで、このホモトピー群の元が透かし情報を表現するように、画像を変更することで、透かし情報の埋め込みを行うことが可能である。

【0106】ホモトピー群の元は、画像や音声に対する局所的変形によっても不変であるので、局所的変形に強い電子透かしを実現することができる。例えば、透かし情報“0”を埋め込む場合にはホモトピー群中の“1”で表される元を表現するように各分割領域（例えば、ブロック）の画素値の値を変更し、透かし情報“1”を埋め込む場合にはホモトピー群中の“-1”で表される元を表現するように各分割領域の画素値を変更するといった具合である。

【0107】ホモトピー群の任意の元を表現する対象空間上の画素値を作る方法としては、例えば、次のような関数を用いる方法がある。ここで、 H は画像の高さであり、 W は画像の幅であり、 x, y は画像の座標であり、 n はホモトピー群の元を表す数である。

【0108】

【数6】

$$\psi_n(x, y) = (X_1(\theta, \varphi), X_2(\theta, \varphi), X_3(\theta, \varphi)),$$

$$X_1(\theta, \varphi) = \cos \theta \cos \varphi,$$

$$X_2(\theta, \varphi) = \cos \theta \sin \varphi,$$

$$X_3(\theta, \varphi) = \sin \theta,$$

$$\theta = 2\pi x / H,$$

$$\varphi = 2\pi y / W$$

【0109】例えば、図8(a)の画像の左上を原点にとると、ホモトピー類 $n=1$ の場合には、該画像の外周(端部)が図8(b)の2次元球面の $(0, 0, 1)$ すなわち北極にあたる部分に対応し、該画像の中心が図8(b)の2次元球面の $(0, 0, -1)$ すなわち南極にあたる部分に対応し、その間は、連続的に対応することになる。すなわち、基底空間での赤道周りでの1周が、対象空間での赤道周りでの1周に対応する。ホモトピー類 $n=-1$ の場合にも、同様であるが、対象空間での赤道周りでの1周が、 $n=1$ の場合に比べて逆回りになる。また、 $n=2$ または -2 の場合には、基底空間での赤道周りでの1周が、対象空間での赤道周りでの2周に対応する。

【0110】もちろん、上記の関数は一例であり、その他にも様々な方法がある。

【0111】ところで、2次元球面である対象空間は色空間に埋め込まれているが、代表画素値が対象空間上に値を取るとは限らない。むしろ、透かし情報を埋め込む前の画像や、圧縮・伸張等の操作を経たコンテンツや、流通経路を経たコンテンツは、対象空間上以外の領域に値をとっていることが一般的であると考えべきである。また、

前述のように透かし情報を埋め込む際に対象画像において基底空間に対象空間そのものに対応する値を割り当てるのではなく、対象空間を再現可能な値(例えば、対象値のベクトルをスケール倍したもの)を割り当てる方法も考えられ、この場合には、透かし情報埋め込み時点において既に代表画素値は対象空間上以外の領域に値をとっていることになる。

【0112】そして、後述するように、画像のホモトピー群の類は、代表空間上の代表値から求めることになるので、その前処理として、代表画素値を対象空間上の1点に対応つける処理を行う必要がある。

【0113】そこで、本実施形態では、対象値計算部112は、各代表画素値に対して、図8の(b)に示すように、当該代表画素値と対象空間である2次元球面の中心とを結ぶ直線が、この2次元球面と交差する点(そのような点は2点ある)のうち、当該代表画素値に近い方の点を、対象値とする。ここで、直線や距離といった概念を色空間に導入しているが、これは、あらかじめ適当な座標系と計量を導入しておけばよい。

【0114】積分部113は、求められた対象値に対して次の積分を計算する。ここで、 f は対象値である。積分は、基底空間上で行われる。

【0115】

【数7】

$$I(f) = \frac{1}{4\pi} \int_0^H \int_0^H dx \int dy f \cdot \partial_x f \times \partial_y f$$

【0116】実際には、対象値は、連続的な2次元球面上ではなく、分割領域(例えば、ブロック)で代表される離散的な空間上に値を取ることで、被積分関数中の微分は、差分に置き換えられ、積分は、和で置き換えられて計算される。つまり、積分結果は次式で与えられる。

【0117】

【数8】

$$Id(f) = \frac{1}{4\pi} \sum_{i,j} f(i,j) \cdot (f(i+1,j) - f(i,j)) \times (f(i,j+1) - f(i,j))$$

【0118】なお、積分結果は、整数となることが期待されるが、誤差が入る原因が種々あるので、積分結果に最も近い整数を求め、それがホモトピー群の類を表しているとすればよい。

【0119】図11に、ホモトピー類変更部12の構成例を示す。

【0120】図11に示されるように、ホモトピー類変更部12は、合成類計算部121、埋め込み関数生成部122、画像変更部123を備えている。

【0121】合成類計算部121は、原画像がすでに持っているホモトピー群の類の値と、埋め込まれるべきホモトピー群の類の値とを入力し、画像にどのような値の変更を施す必要があるかを計算する。例えば、既に原画像がホモトピー類として値 a を持っており、ホモトピー類として値 b を埋め込みたい場合には、必要な増分値は、 $b-a$ であるということを求める。

【0122】埋め込み関数生成部122は、合成された値(増分値)から、そのような増分値に対応する画像を生成する。例えば、先に定義した関数を使って Ψ_{b-a} を生成し、そ

れを埋め込み画像とする。埋め込み関数は、 $I(\Psi_{b-a})=b-a$ を与える関数となっている。

【0123】画像変更部123は、原画像に対して、埋め込み画像を重畳することで、ホモトピー群中に値 b を持つ埋め込み済み画像を作り出す。ただし、この重畳の処理は、原画像の画素値に埋め込み関数の画素値を重畳することによつては、正しいホモトピー群の元を与えない。なぜならば、上で定義した積分量は、関数に関して非線形であるため、二つの関数 f と g が与えられた場合、一般に、 $I(f+g) \neq I(f) + I(g)$ であるからである。

【0124】そこで、正しくホモトピー類を更新するために、画像変更部123の行う処理例として、次のような処理内容がある。図12(a)において、関数 f は、原画像の代表画素値を表す関数とする。まず、この関数を画像の半分(例えば、左半分または右半分)の領域上の関数へと変換する。これは、画像を $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ という2次元の座標で表現するものとする、 $f(x, y)$ が与えられたとき、 $f(2x, y)$ によつて、 $0 \leq x \leq 1/2$ 、 $0 \leq y \leq 1$ の上の関数とする操作である。

【0125】次に、残りの半分(例えば、右半分または左半分)の領域に対して、埋め込み関数生成部122が生成した関数 $\Psi_{b-a}(x, y)$ から、 $\Psi_{b-a}(2x-1, y)$ によつて、 $1/2 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$ の上の関数への変換したものへと変換する。

【0126】そして、それぞれ、半分の領域で定義された関数を一つの関数とみなして、全領域で定義された関数を合成する。このようにして合成された関数を、 $f * g$ と表現するならば、 $I(f * g) = I(f) + I(g)$ となるので、 $I(f * \Psi_{b-a}) = I(f) + I(\Psi_{b-a}) = a + (b - a) = b$ となる。

【0127】なお、上記の操作において、半分の領域の取り方には、種々のバリエーションがある。また、上記のように2種類の領域の面積あるいはブロック数を1:1にするのではなく、他の比になるように分割する方法も可能である。

【0128】図13に、画像変更部123の構成例を示す。

【0129】図13に示されるように、画像変更部123は、領域分割部1231、画素値変更部1232を備えている。なお、1つの領域分割部をホモトピー類計算部11の領域分割部111および画像変更部123の領域分割部1231として兼用してもよい。

【0130】埋め込み画像は、対象値を与える関数(例えば、上記のような合成関数)で表現されている。そこで、領域分割部1231は、原画像を、一旦、領域分割し、各分割領域の代表画素値を求める。そして、画素値変更部1232は、その代表画素値を合成関数の値で置き替わるよう、原画像中のその分割領域に含まれる画素の値を変更する。

【0131】なお、分割領域の代表画素値は、例えば、分割領域の代表座標値によつて求めるものとする。

【0132】なお、ある分割領域(例えば、ブロック)に対してある埋め込むべき代表画素値が指定されたときに、1ブロックが1画素から構成される場合には、例えば、その画素のRGBの各画素値の透かし情報に用いる所定ビット列部分に対して、指定された代表画素値を書き込む。また、例えば、各画素毎に、その画素の画素値の所定ビット列部分の元の値が示す代表画素値(ベクトル)との距離が最小になるように、指定された代表画素値(ベクトル)をスケール倍して、書き込むようにしてもよい。

【0133】また、あるブロックに対してある代表画素値が指定されたときに、1ブロック

が複数画素から構成される場合には、例えば、それら画素の所定ビット列部分の平均値が、指定された代表画素値になるように、書き込みを行う。例えば、1つのブロックを構成する複数の画素にすべて同じ値(すなわち指定された代表画素値)を書き込むようにしてもよいし、適当な方法で分散を与えて画素により異なる値を書き込む(同じ値を持つ2以上の画素が存在する場合を含む)方法もある。また、例えば、分散を与える際に、各画素の元の値に基づき各画素の元の値からの変化が少なくなるように最適化して、各画素への書き込みを行うようにしてもよい。また、例えば、各ブロック毎に、各画素の元の値に基づき各画素の元の値からの変化が少なくなるように、指定された代表画素値(ベクトル)をスケール倍して、書き込みを行うようにしてもよい。

【0134】図14に、本実施形態の電子透かし検出装置の構成例を示す。

【0135】図14に示されるように、本実施形態の電子透かし検出装置は、ホモトピー類計算部21と、ホモトピー類・透かし情報変換部22を備えている。

【0136】ホモトピー類計算部21は、電子透かし埋込装置のホモトピー類計算部11と同じ構成である。なお、詳細については説明を省略する。

【0137】この検出の場合においても、ホモトピー類計算部21の領域分割部(図7参照)が分割領域毎の代表画素値を求め、これを対象値計算部(図7参照)が対象値に変換し、積分部(図7参照)がホモトピー類を算出する。

【0138】前述したように、埋め込み直後の画像において代表画素値が対象空間上にあるようになっていたとしても、その後のノイズ、圧縮や攻撃によって、検出の時点では、代表画素値が対象空間上にない場合が想定される。また、埋め込み直後に代表画素値が対象空間上にない場合には、検出の時点でも、代表画素値が対象空間上にないと考えられる。しかし、本実施形態では、対象値計算部によって、正しい対象値あるいはこれに近い値を復元することができる。例えば、埋め込み直後の画像において代表画素値が対象空間上にある場合において、図15に示すように、対象コンテンツに埋め込まれた対象値のベクトルV0が、流通経路でV1となっても、対象値計算部がこれを対象空間上のベクトルV2に補正してくれる(V0からV1への差は大きくても、V0からV2への差は δv と非常に小さい)。したがって、積分部による積分値が正しい値(ホモトピー類)またはそれと判断できるような値を復元できるようにしてくれることが期待できる。

【0139】ホモトピー類・透かし情報変換部22は、電子透かし埋込装置の透かし情報・ホモトピー類変換部13の逆の変換であり、すなわち、ホモトピー類計算部21により検出されたホモトピー類を入力し、これに対応する透かし情報を求める。例えば、先の例に対応する処理としては、透かし情報としてコピーの可否を示す制御情報を埋め込む場合に、ホモトピー類 $=+1$ が検出されたならば、透かし情報としてコピー可を示す情報を出し、ホモトピー類 $= -1$ が検出されたならば、透かし情報としてコピー禁止を示す情報を出し、ホモトピー類 $=m$ が検出されたならば、透かし情報として識別番号 $n = (m - C2) / C1$ を出力する。また、例えば、透かし情報としてコピーの可否を示す制御情報および利用者の識別番号を埋め込む場合に、ホモトピー類 $= + |m|$ が検出されたならば、透かし情報としてコピー可を示す情報および識別番号 $n = (|m| - C2) / C1$ を出力し、ホモトピー類 $= - |m|$ が検出されたならば、透かし情報としてコピー不可を示す情報および識別番号 $n = (|m| - C2) / C1$ を出力する。もちろん

ん、これらは一例であり、様々な方法がある。

【0140】なお、ホモトピー類・透かし情報変換部22は、ホモトピー類計算部21により検出されたホモトピー類に該当する透かし情報が存在しない場合には、ホモトピー類計算部21により検出されたホモトピー類に最も近く且つ該当する透かし情報が存在するホモトピー類を、検出されたホモトピー類として、該当する透かし情報を求めるようにすればよい。

【0141】また、ホモトピー類・透かし情報変換部22は、ホモトピー類計算部21により検出されたホモトピー類が、ある透かし情報に対応するホモトピー類の値と他の透かし情報に対応するホモトピー類の値との中間付近にあたる場合には、エラーを示す情報(または、それら透かし情報およびエラーを示す情報)を出力するようにしてもよい。

【0142】また、ホモトピー類計算部21により検出されたホモトピー類の値を、透かし情報として用いる場合には、ホモトピー類・透かし情報変換部22は、不要である。

【0143】なお、電子透かし埋込装置と電子透かし検出装置とを兼ね備える場合には、1つのホモトピー類計算部を、電子透かし埋込装置のホモトピー類計算部11および電子透かし検出装置のホモトピー類計算部21として兼用することも可能である。

【0144】なお、上記では、画像データの全体にホモトピー類を埋め込んだが、画像データの特定の一部にホモトピー類を埋め込むようにしてもよい。この場合には、埋め込み関数生成部122は、指定されたホモトピー類を当該特定の一部に埋め込むための関数のみ生成し、画像変更部123は、この関数に基づいて、当該特定の一部についてのみ、代表画素値の埋め込みを行う。例えば、図12において、右半分のみ書き込みを行い、左半分は画素値に変更を与えないようにする。そして、検出時には、積分部は、予め定められた当該特定の一部のみを積分範囲として計算を行うことによって、当該特定の一部に埋め込まれたホモトピー類を検出する。

【0145】なお、例えば、画像データでは、画像の中央付近に重要な情報が含まれていることが多いので、画像の周辺部への埋め込みは行わず、中央部分だけに埋め込むことも可能である。この場合、周辺部では、関数の値が一定値となるようにすればよい。

【0146】以上説明してきたように、本実施形態では、埋め込むべき透かし情報に対応する位相不変量(例えば、ホモトピー類)を対象コンテンツに設定するようにしたので、StirMark攻撃やD-A-D変換などの局所的変形を受けても、位相不変量が維持・保存され、対象コンテンツから正しい位相不変量を検出し、対応する正しい透かし情報を得ることができる。

【0147】(第2の構成例)次に、第2の構成例について説明する。

【0148】第1の構成例では、原画像の代表画素値と埋め込み関数の合成関数を作り、それを原画像の代表画素値の変わりに置き換えることで、埋め込み済み画像を生成した。これに対して、第2の構成例は、原画像の代表値を用いずに、埋め込まれる類に対応する埋め込み関数で代表値を置き換えるようにしたものである。すなわち、対象コンテンツが元々持つホモトピー類aは検出することなく、埋め込むべき透かし情報に対応するホモトピー類bを、対象コンテンツに付与するようにしたものである。

【0149】以下では、第1の構成例と相違する点を中心に説明する。

【0150】図16に、本実施形態の電子透かし埋込装置の構成例を示す。

【0151】図16に示されるように、本実施形態の電子透かし埋込装置は、ホモトピー

類変更部14と、透かし情報・ホモトピー類変換部13を備えている。透かし情報・ホモトピー類変換部13は、第1の構成例と同様である。

【0152】図17に、ホモトピー類変更部14の構成例を示す。

【0153】図17に示されるように、ホモトピー類変更部14は、埋め込み関数生成部122と、画像変更部123を備えている。画像変更部123は、第1の構成例の画素値変更部1232と基本的には同様の構成の画素値変更部からなる(図12の(b)のgを画像全体に埋め込む場合に相当する)。

【0154】第1の構成例では、埋め込み関数生成部122は、合成類計算部121からホモトピー群の類の増分値 $b-a$ (すなわち、埋め込まれるべきホモトピー群の類の値 b ー原画像がすでに持っているホモトピー群の類の値 a)を与えられ、そのような増分値に対応する画像を与える埋め込み関数、例えば関数 Ψ_{b-a} 、を生成した。

【0155】これに対して本構成例の埋め込み関数生成部122は、透かし情報として埋め込むべきホモトピー類の元 b を入力とし、その元 b に対応する埋め込み関数を出力する。例えば、先に定義した関数を使って埋め込み関数 Ψ_b を生成し、それを埋め込み画像とする。このとき、埋め込み関数は、 $l(\Psi_b)=b$ を与える関数となっている。

【0156】そして、画像変更部123は、例えば第1の構成例で説明したようにして、原画像の各分割領域(例えば、ブロック)の代表画素値を、埋め込み関数(例えば、 Ψ_b)の値で置き替わるよう、原画像中のその分割領域に含まれる画素の値を変更する。

【0157】次に、ホモトピー類変更部14のバリエーションについて説明する。

【0158】ホモトピー類変更部14の埋め込み関数生成部122は、ホモトピー類の元 b に対応する埋め込み関数として、同じ類 b に属する関数の族を生成して、画像変更部123は、その族の中から、画像の品質を劣化される程度が最も小さな関数を選択して、その関数の値によって画素値の変更を行うような構成も可能である。

【0159】図18に、この場合のホモトピー類変更部14の構成例を示す。図18に示されるように、この場合のホモトピー類変更部14は、図17の構成に更に最適パラメータ選択部124を備えている。

【0160】この場合には、埋め込み関数生成部122は、あるパラメータを持つ埋め込み関数を生成する。パラメータは一変数であっても多変数であってもよい。このパラメータを p と表すと、埋め込み関数は、 p によってその形が変化する関数である。

【0161】原画像の画素値のこの埋め込み関数によって変更した場合の画質の評価値を計算し、その評価値が最良の画質を与える場合のパラメータ p を選択して、その p によって決まる埋め込み関数でもって、画像変更部123は、原画像の画素値を変更する。

【0162】例えば、図19に示すように、単位2次元球面上に値をとる埋め込み関数を動径方向にスケール倍して得られる関数において、そのスケール倍を p によって表すことで得られる埋め込み関数の族を定義する。各分割領域(例えば、ブロック)の現在の代表画素値 x と、対応する埋め込み関数の値 $x'(p)$ との間の距離の2乗を、すべての分割領域に渡って和をとったものが、最小になるように p を決定することで、画質に与える影響を最小とするような埋め込みを行うことができる。

【0163】パラメータとしては、この一様なスケール倍以外にも、一様な回転や、より一般には、一様ではない座標変換を表すパラメータをとることも可能である。

【0164】なお、画像変更部123は、ある分割領域に対してある埋め込むべき代表画

素値が指定されたときに、1ブロックが1画素から構成される場合には、例えば、その画素のRGBの各画素値の透かし情報に用いる所定ビット列部分に対して、指定された代表画素値を書き込む。また、あるブロックに対してある代表画素値が指定されたときに、1ブロックが複数画素から構成される場合には、例えば、それら画素の所定ビット列部分の平均値が、指定された代表画素値になるように、書き込みを行う。例えば、1つのブロックを構成する複数の画素にすべて同じ値(すなわち指定された代表画素値)を書き込むようにしてもよいし、適当な方法で分散を与えて画素により異なる値を書き込む方法もある。

【0165】なお、このようなバリエーションは、第1の構成例にも適用可能である。

【0166】以上説明してきたように、本実施形態では、埋め込むべき透かし情報に対応するホモトピー類を対象コンテンツに設定するようにしたので、StirMark攻撃やD-A-D変換などの局所的変形を受けても、ホモトピー類が維持・保存され、対象コンテンツから正しいホモトピー類を検出し、対応する正しい透かし情報を得ることができる。

【0167】(第3の構成例)次に、第3の構成例について説明する。

【0168】第1の構成例では、原画像の代表画素値と埋め込み関数の合成関数を作り、それを原画像の代表画素値の変わりに置き換えることで、埋め込み済み画像を生成した。また、第2の構成例は、原画像の代表値を用いずに、埋め込まれる類に対応する埋め込み関数で代表値を置き換えるようにした。

【0169】これら第1の構成例と第2の構成例を組み合わせ、まず、第1の透かし情報として第2の構成例で f を埋め込み、次に第2の透かし情報として第1の構成例で g を埋め込むと、 f と g を多重化して埋め込むことができる。この場合、例えば、図12に示すように、左半分に f が埋め込まれ、右半分に g が埋め込まれ、全体として $f+g$ が埋め込まれる。

【0170】以下では、第1、第2の構成例と相違する点を中心に説明する。

【0171】図20に、本構成例の電子透かし埋込装置の構成例を示す。図20に示されるように、本構成例の電子透かし埋込装置は、第2の構成例の電子透かし埋込装置と基本的には同様の構成の第1の電子透かし埋込部1-1と、第1の構成例の電子透かし埋込装置と基本的には同様の構成の第2の電子透かし埋込部1-2を備えている。

【0172】図21に、本構成例の電子透かし検出装置の構成例を示す。図21に示されるように、本構成例の電子透かし検出装置は、第1、第2の構成例の電子透かし検出装置と基本的には同様の構成の第1の電子透かし検出部2-1と、第2の電子透かし検出部2-2を備えている。

【0173】この場合、まず、第1の電子透かし埋込部1-1に、対象コンテンツと、第1の透かし情報(ホモトピー類 f に対応するものとする)とを入力すると、例えば図12に示すようにホモトピー類 f が対象コンテンツの全体に埋め込まれる。

【0174】次に、第2の電子透かし埋込部1-2に、このホモトピー類 f が埋め込まれたコンテンツと、第2の透かし情報(ホモトピー類 g に対応するものとする)とを入力すると、例えば図12に示すように予め定められた所定の一部分にホモトピー類 f が埋め込まれ、予め定められた所定の残りの部分にホモトピー類 g が埋め込まれたコンテンツが得られる。なお、この場合には、第1の構成例における原画像が元々持つホモトピー

類が、第1の透かし情報に対応するホモトピー類 f となる。また、第1の構成例における(埋め込むホモトピー類と原画像が元々持つホモトピー類との)差は求めず、第2の透かし情報に対応するホモトピー類 g をこの差として処理することになる。

【0175】検出時には、第1の電子透かし検出部2-1に、コンテンツ(上記のコンテンツとする)を入力すると、積分部は、予め定められた所定の一部分のみを積分範囲として計算を行うことによって、当該予め定められた所定の一部分に埋め込まれたホモトピー類 f を検出する。

【0176】次に、第2の電子透かし検出部2-1に、コンテンツ(上記のコンテンツとする)を入力すると、積分部は、予め定められた所定の残りの部分のみを積分範囲として計算を行うことによって、当該予め定められた所定の一部分に埋め込まれたホモトピー類 g を検出する。

【0177】なお、第1の電子透かし検出部2-1と、第2の電子透かし検出部2-1とは、上記とは逆の順番に動作してもよいし、並列的に動作してもよい。

【0178】また、第2の電子透かし検出部2-2は、コンテンツの全体に埋め込まれたホモトピー類 $f+g$ を検出し、これから第1の電子透かし検出部2-1によって求められたホモトピー類 f を減じて、ホモトピー類 g を求めてもよい。

【0179】また、上記とは別の方法も可能である。

【0180】例えば、まず、第1の電子透かし埋込部1-1に、対象コンテンツと、第1の透かし情報(ホモトピー類 a に対応するものとする)とを入力し、ホモトピー類 a を対象コンテンツの全体に埋め込む。

【0181】次に、第2の電子透かし埋込部1-2に、このホモトピー類 a が埋め込まれたコンテンツと、第2の透かし情報(ホモトピー類 b に対応するものとする)とを入力すると、埋め込むホモトピー類 b と原画像が元々持つホモトピー類 a との差 $b-a$ を求め、予め定められた所定の一部分にホモトピー類 a が埋め込まれ、予め定められた所定の残りの部分にホモトピー類 $b-a$ が埋め込まれたコンテンツが得られる。コンテンツ全体には、ホモトピー類 $a+(b-a)=b$ が埋め込まれたことになる。

【0182】検出時には、第1の電子透かし検出部2-1に、コンテンツ(上記のコンテンツとする)を入力すると、積分部は、予め定められた所定の一部分のみを積分範囲として計算を行うことによって、当該予め定められた所定の一部分に埋め込まれたホモトピー類 a を検出する。

【0183】次に、第2の電子透かし検出部2-1に、コンテンツ(上記のコンテンツとする)を入力すると、積分部は、当該コンテンツ全体を積分範囲として計算を行うことによって、当該コンテンツ全体に埋め込まれたホモトピー類 b を検出する。

【0184】なお、第1の電子透かし検出部2-1と、第2の電子透かし検出部2-1とは、上記とは逆の順番に動作してもよいし、並列的に動作してもよい。

【0185】また、第2の電子透かし検出部2-2は、コンテンツの予め定められた所定の一部分に埋め込まれたホモトピー類 $b-a$ を検出し、これに第1の電子透かし検出部2-1によって求められたホモトピー類 a を加えて、ホモトピー類 b を求めてもよい。

【0186】本構成例においても、もちろん、第1の電子透かし埋込部1-1と、第2の電子透かし埋込部1-2とで、重複する構成部分(の全部または一部)を兼用のものにしてもよいし、第1の電子透かし検出部2-1および第2の電子透かし検出部2-2についても同様である。また、電子透かし埋込部1-1、1-2および電子透かし検出部

2-1、2-2をすべて備える場合には、それら全体について、重複する構成部分(の全部または一部)を兼用のものにしてもよい。

【0187】また、上記では、ホモトピー類の二重化の場合について説明したが、ホモトピー類の三重化以上の多重化も可能である。

【0188】これまでは、静止画を対象コンテンツとした場合を例にとって説明するが、以下では、動画像を対象コンテンツとした場合の構成例について説明する。

【0189】(第4の構成例)次に、第4の構成例について説明する。

【0190】本構成例では、第1の構成例において、対象コンテンツが元々持っているホモトピー類を検出することなく、動画像への電子透かしの埋め込みを行うものである。

【0191】本実施形態の処理手順の一例は、基本的には、図4、図5と同様である。

【0192】図22に、本構成例の電子透かし埋込装置の構成例を示す。

【0193】図22に示されるように、本構成例の電子透かし埋込装置は、フレーム分割部1011、静止画への電子透かし埋込部1012、フレーム再合成部1013、透かし情報・ホモトピー類変換部1014を備えている。

【0194】透かし情報・ホモトピー類変換部1014は、第1の構成例の透かし情報・ホモトピー類変換部13と同様である。

【0195】フレーム分割部1011は、動画像を複数のフレームに分割して、連続する静止画とする。

【0196】静止画への電子透かし埋込部1012は、第1の構成例の電子透かし埋込装置と基本的には同様の構成であり、フレーム分割部1011で得られたフレーム毎に、透かし情報として与えられたホモトピー群中の類を表す値を埋め込む。

【0197】ただし、その際に、原画像が持っているホモトピー類を求めることも、原画像が持っているホモトピー類を例えば画像データの左半分に移す操作もせず、直接、電子透かしに対応するホモトピー類を画像データの特定の一部分(例えば右半分)に埋め込む。すなわち、画像変更部(図11参照)において、埋め込み関数生成部は、第1の構成例とは相違して、指定されたホモトピー類を当該特定の一部分に埋め込むための関数のみ生成し、画像変更部は、この関数に基づいて、当該特定の一部分についてのみ、代表画素値の埋め込みを行う。例えば、図12において、右半分のみ書き込みを行い、左半分は画素値に変更を与えないようにする。

【0198】この結果、例えば、図12の(b)の場合、右半分にはホモトピー類 g が埋め込まれるが、左半分には何らかのホモトピー類 r が埋め込まれている。

【0199】この場合、得られる画像のホモトピー群中の元は、埋め込むべき元とは異なる場合もあるが(例えば、 $r=1$ であれば、そのフレームには、 $g+1$ が埋め込まれる)、後で述べる電子透かし検出装置において、複数のフレームから得られらホモトピー類から最も確からしい類を推定するので、複数のフレームに同一のホモトピー類を埋め込めば、結果として得られる画像の類は、埋め込むべき類の値を中心に分散するので、統計的に正しい類を推定することが可能となるからである。

【0200】フレーム再構成部1013は、静止画への電子透かし埋込部1012で各フレームに対して埋め込みが行われた結果として得られる複数のフレームを元の順序通りに動画像として再構成する。

【0201】図23に、本構成例の電子透かし検出装置の構成例を示す。

【0202】図23に示されるように、本構成例の電子透かし検出装置は、フレーム分割

部1021、静止画からの電子透かし検出部1022、最尤類計算部1023、ホモトピー類・透かし情報変換部1024を備えている。

【0203】フレーム分割部1021は、動画像を複数のフレームに分割して、連続する静止画とする。

【0204】静止画からの電子透かし検出部1022は、第1の構成例の電子透かし検出装置のホモトピー類計算部11と基本的には同様の構成であり、フレーム分割部1021で得られたフレーム毎に、ホモトピー群中の元を表す値を検出する。

【0205】最尤類計算部1023は、静止画からの電子透かし検出部1022でフレーム毎に求めた類の値から、最も確からしい類の値を推定する。例えば、最も多い回数得られた値や平均値などの値で推定することができる。最尤類計算部1023は、推定された値を、検出されたホモトピー類として出力する。

【0206】ホモトピー類・透かし情報変換部1024は、第1の構成例の電子透かし検出装置のホモトピー類・透かし情報変換部22と基本的には同様の構成であり、最尤類計算部1023により検出されたホモトピー類を入力し、これに対応する透かし情報を求める。

【0207】なお、上記は、第1の構成例において、対象コンテンツが元々持つホモトピー類を検出することなく、動画像への電子透かしの埋め込みを行う場合であったが、第2の構成例において、対象コンテンツが元々持つホモトピー類を検出することなく、動画像への電子透かしの埋め込みを行う場合には、静止画への電子透かし埋込部1012で全フレームに対して第2の構成例と同様に透かし情報を埋め込めばよい。また、最尤類計算部1023は、不要になり、静止画からの電子透かし検出部1022の出力値(ホモトピー類)を、ホモトピー類・透かし情報変換部1024へ与えればよい。これらの点は、第3の構成例の場合も同様である。

【0208】(第5の構成例)次に、第5の構成例について説明する。

【0209】第4の構成例では、第1、第2または第3の構成例において、全フレームに同じホモトピー類を埋め込んだが、本構成例は、第1、第2または第3の構成例において、フレーム毎に異なるホモトピー類を埋め込む(同じホモトピー類を持つ2以上のフレームが存在する場合を含む)ものである。

【0210】図24に、本構成例の電子透かし埋込装置の構成例を示す。

【0211】図24に示されるように、本構成例の電子透かし埋込装置は、フレーム分割部2011、静止画への電子透かし埋込部2012、フレーム再合成部2013、ランダム化部2014、透かし情報・ホモトピー類変換部2015を備えている。

【0212】フレーム分割部2011、静止画への電子透かし埋込部2012／透かし情報・ホモトピー類変換部2015、フレーム再合成部2013は、それぞれ、図22(第4の構成例)のフレーム分割部1011、静止画への電子透かし埋込部1012、フレーム再合成部1013と同様の構成である。

【0213】ランダム化部2014は、埋め込まれる類を全てのフレームに同一ではなくランダムに異なる類を選択するようにするため、所定の鍵情報を用いて乱数を生成し(例えば、鍵情報に応じて乱数の生成の仕方が異なってくる)、それによって各フレームに対して埋め込むべき類を決定する処理を行う。

【0214】これは、各フレーム毎にランダムに異なる類を埋め込むことで、透かしの偽造をより困難にするものである。つまり、偽造を行うものが、ある透かし情報に相当す

る類を各スレームに対し埋め込もうと思っても、鍵情報や乱数発生の方法を知らなければ、正しく類の系列を生成できないため、偽造が困難となる。

【0215】図25に、本構成例の電子透かし検出装置の構成例を示す。

【0216】図25に示されるように、本構成例の電子透かし検出装置は、フレーム分割部2021、静止画からの電子透かし検出部2022、逆変換部2023、ホモトピー類・透かし情報変換部2024を備えている。

【0217】フレーム分割部2021、静止画からの電子透かし検出部2022、ホモトピー類・透かし情報変換部2024は、それぞれ、図23(第4の構成例)のフレーム分割部1021、静止画からの電子透かし検出部1022、ホモトピー類・透かし情報変換部1024と同様の構成である。

【0218】逆変換部2023は、電子透かし埋込装置のランダム化部2014(図24参照)とは逆の入出力関係になり、フレーム毎に検出された類の値をもとに、ランダム化前の類の値(ランダム化部2014に入力された値)を求める処理を行う。その際、ランダム化部2014が使った鍵情報と同じ鍵情報に基づいた方法で、ランダム化前の類の値を求める(例えば、鍵情報に応じて、フレーム毎に検出された類の値と、ランダム化前の類の値との関係が異なってくる)。

【0219】逆変換部2023における処理の方法としては、種々の方法が考えられる。例えば、ランダム化部2014がランダム化前の類を平均値にとるような(あるいはその出現頻度が最も多くなるような)疑似乱数を発生させるものである場合に、逆変換部2023は、例えば最尤類計算部1023と同様に、フレーム毎に求めた類の値から、その平均値(あるいは最も多い回数得られた値)を求め、これを最も確からしい類の値として出力する。

【0220】なお、図24、図25の例では、鍵情報を用いるものとしたが、鍵情報を用いずに処理内容を固定する方法も可能である。

【0221】また、電子透かし埋込装置のランダム化部2014の生成する乱数をスペクトル拡散に用いる乱数列として、電子透かし検出装置の逆変換部2023では、検出された数列と埋め込みに用いた乱数列の相関を評価することで、幾何学的改変を含め各種の攻撃や操作に強い方式とすることも可能である。

【0222】なお、フレームの間引きなどの攻撃を回避するため、フレーム毎に埋め込まれる類を表す数列として、消失がある場合の誤り訂正能力をもつ誤り訂正符号化を施した数列を埋め込むことで耐性を向上させることも可能である。

【0223】次に、第5の構成例のもう一つのバリエーションについて説明する。

【0224】図35に、本構成例の電子透かし埋込装置の構成例を示す。

【0225】図35に示されるように、本構成例の電子透かし埋込装置は、フレーム分割部2411、静止画への電子透かし埋込部2412、フレーム再合成部2413、乱数生成部2414、透かし情報・乱数シード変換部2415を備えている。

【0226】フレーム分割部2411、静止画への電子透かし埋込部2412、フレーム再合成部2413は、それぞれ、図24のフレーム分割部2011、静止画への電子透かし埋込部2012、フレーム再合成部2013と同様の構成である。

【0227】透かし情報・乱数シード変換部2415は、基本的には、図24の透かし情報・ホモトピー類変換部2015と同様であるが、透かし情報に対応してホモトピー類を出力するのではなく、透かし情報に対応して乱数生成部2414に inputs する乱数シード

(乱数の種)を出力する。

【0228】乱数生成部2414は、透かし情報・乱数シード変換部2415から入力された乱数シードに基づいて、疑似乱数列を出力する。この疑似乱数列は、各フレームに設定すべきホモトピー類の列を与える。

【0229】図36に、本構成例の電子透かし検出装置の構成例を示す。

【0230】図36に示されるように、本構成例の電子透かし検出装置は、フレーム分割部2421、静止画からの電子透かし検出部2422、相関判定部2423、乱数シード・透かし情報変換部2424、乱数生成部2434、乱数シード生成部2435を備えている。

【0231】フレーム分割部2421、静止画からの電子透かし検出部2422は、それぞれ、図25のフレーム分割部2021、静止画からの電子透かし検出部2022と同様の構成である。

【0232】乱数生成部2434は、図35の乱数生成部2414と同様の構成である。

【0233】乱数シード生成部2435は、図35の透かし情報・乱数シード変換部2415から出力される可能性のある乱数シード、あるいは対象となるコンテンツに電子透かしを埋め込む際に使用された可能性のある乱数シードを生成する。

【0234】乱数シード・透かし情報変換部2424は、基本的には、図25のホモトピー類・透かし情報変換部2024と同様であるが、ホモトピー類に対応する透かし情報を出力するのではなく、乱数シードに対応する透かし情報を出力する。すなわち、図35の透かし情報・乱数シード変換部2015の逆変換を行う。

【0235】さて、図25の例では、逆変換部2023により、フレーム毎に求めた類の値をもとにして、最も確からしい類を推定した。

【0236】この例では、先に乱数シードを仮定し、その乱数シードをもとに生成した疑似乱数列(ホモトピー類の値の列)と、対象コンテンツから検出された疑似乱数列(ホモトピー類の値の列)とを比較し、両者が同じものであると判定されたならば、当該仮定した乱数シードに対応する透かし情報が埋め込まれていたものと判断する、というものである。

【0237】まず、乱数シード生成部2435が、ある乱数シードを出力する。

【0238】乱数生成部2414は、乱数シード生成部2435から入力された乱数シードをもとに、疑似乱数列(各フレームに対応するホモトピー類の列)を生成する。

【0239】相関判定部2423は、乱数生成部2434からの各フレームに対応するホモトピー類の列と、電子透かし検出部2422からの各フレームに対応するホモトピー類の列との相関を計算し、両者が同じものでないと判断したならば、不一致を示す判定結果を、乱数シード生成部2435に与える。

【0240】乱数シード生成部2435は、相関判定部2423から不一致を示す判定結果が与えられたならば、他の乱数シードを出力する。そして、上記と同様に、乱数生成部2434は、疑似乱数列を生成する。また、上記と同様に、相関判定部2423は、相関を取り、同じものでないと判断されたならば、再度、不一致を示す判定結果を、乱数シード生成部2435に与える。

【0241】以上を繰り返し行い、相関判定部2423は、乱数生成部2434からのホモトピー類の列と、電子透かし検出部2422からのホモトピー類の列との相関を取り、両者が同じものであると判断したならば、今度は、一致を示す判定結果を、乱数シード生成部2435に与える。

【0242】乱数シード生成部2435は、相関判定部2423から一致を示す判定結果が与えられたならば、そのときの乱数シードを、乱数シード・透かし情報変換部2424に出力する。

【0243】乱数シード生成部2435から乱数シードを与えられた乱数シード・透かし情報変換部2424は、与えられた乱数シードに対応する透かし情報を求めて出力する。

【0244】なお、最終的に相関判定の結果として一致が得られなかった場合には、そのコンテンツには、透かし情報が埋め込まれていない状態であることを示す。

【0245】相関判定部2423における相関の計算は、例えば、2つの数列において、その値が一致する要素に対しては1、一致しない要素に対しては0の値を累積計算することで行う。そして、例えば、この累積値が、所定のしきい値を越えた場合には、一致を示す判定結果を出力し、所定のしきい値を越えなかった場合には、不一致を示す判定結果を出力する。

【0246】具体的には、例えば、コンテンツには、透かし情報としてコピー可またはコピー不可が埋め込まれるものとする。そして、例えば、コピー可に対応する乱数シードは、所定ビットの2進数 x であり、コピー不可に対応する乱数シードは、所定ビットの2進数 y ($\neq x$)であるものとする。そして、検出対象コンテンツは、コピー可であり、該コンテンツの各フレーム0、1、2、3…には、それぞれ、所定ビットの2進数 x を乱数シードとして発生されたホモトピー類、0、1、0、0、1、1、0、1、0、1、1、1、0、…、が設定されているものとする。

【0247】透かし情報検出時には、まず、乱数シード生成部2435が、例えば、コピー不可に対応する乱数シード y を出力する。

【0248】乱数生成部2414は、乱数シード生成部2435から入力された乱数シード y をもとに、各フレームに対応するホモトピー類の列を生成する。例えば、1、1、0、1、0、1、1、1、0、0、1、1、0、…、が生成されたものとする。

【0249】一方、電子透かし検出部2422からは、各フレームに対応するホモトピー類の列として、0、1、0、0、1、1、0、1、0、1、1、1、0、…、が出力されることになる。

【0250】相関判定部2423は、乱数生成部2434からの各フレームに対応するホモトピー類の列と、電子透かし検出部2422からの各フレームに対応するホモトピー類の列との相関を計算する。この場合、相関計算結果が一致条件を満たさず、両数列は、同じものでないと判断され、不一致を示す判定結果が、乱数シード生成部2435に与えられる。

【0251】次に、乱数シード生成部2435は、コピー可に対応する乱数シード x を出力する。

【0252】乱数生成部2414は、乱数シード生成部2435から入力された乱数シード x をもとに、各フレームに対応するホモトピー類の列として、0、1、0、0、1、1、0、1、0、1、1、1、0、…を生成する。

【0253】一方、電子透かし検出部2422からは、各フレームに対応するホモトピー類の列として、0、1、0、0、1、1、0、1、0、1、1、1、0、…、が出力されることになる。

【0254】相関判定部2423は、乱数生成部2434からの各フレームに対応するホモトピー類の列と、電子透かし検出部2422からの各フレームに対応するホモトピー類の列との相関を計算する。この場合、相関計算結果が一致条件を満たすので、両数列は、同じものであると判断され、一致を示す判定結果が、乱数シード生成部2435

に与えられる。

【0255】乱数シード生成部2435は、相関判定部2423から一致を示す判定結果が与えられたならば、そのときの乱数シード x を、乱数シード・透かし情報変換部2424に出力する。

【0256】乱数シード生成部2435から乱数シード x を与えられた乱数シード・透かし情報変換部2424は、与えられた乱数シード x に対応する透かし情報すなわちコピー可を示す情報を出力する。

【0257】なお、乱数シード生成部2435が生成する乱数列は、必ずしも、各要素が0または1の値を取るものでなくてもよく、各要素が整数値を取るものであってもよい。

【0258】なお、乱数シード生成部2435が乱数シードを生成する方法には、種々のバリエーションが考えられる。

【0259】ところで、上記では、乱数シード生成部2435により乱数シードを仮定し相関判定結果に従ってその試行錯誤を行ったが、その代わりに、透かし情報を仮定し相関判定結果に従ってその試行錯誤を行うことも可能である。

【0260】この場合には、乱数シード生成部および乱数シード・透かし情報変換部の代わりに、透かし情報生成部および透かし情報・乱数シード変換部を備える。

【0261】まず、透かし情報生成部が、ある透かし情報を出力する。

【0262】透かし情報・乱数シード変換部は、透かし情報生成部から与えられた透かし情報に対応する乱数シードを出力する。

【0263】乱数生成部2434は、透かし情報・乱数シード変換部から入力された乱数シードをもとに、疑似乱数列(各フレームに対応するホモトピー類の列)を生成する。

【0264】相関判定部2423は、乱数生成部2434からの各フレームに対応するホモトピー類の列と、電子透かし検出部2422からの各フレームに対応するホモトピー類の列との相関を計算し、両者が同じものでないと判断したならば、不一致を示す判定結果を、透かし情報生成部に与える。

【0265】透かし情報生成部は、相関判定部2423から不一致を示す判定結果が与えられたならば、他の透かし情報を出力する。そして、上記と同様に、乱数生成部2434は、疑似乱数列を生成する。同様に、相関判定部2423は、相関を取り、同じものでないと判断されたならば、再度、不一致を示す判定結果を、透かし情報生成部に与える。

【0266】以上を繰り返し行い、相関判定部2423は、乱数生成部2434からのホモトピー類の列と、電子透かし検出部2422からのホモトピー類の列との相関を取り、両者が同じものであると判断したならば、今度は、一致を示す判定結果を、透かし情報生成部に与える。

【0267】透かし情報生成部は、相関判定部2423から一致を示す判定結果が与えられたならば、そのときの透かし情報を出力する。

【0268】なお、透かし情報生成部が透かし情報を生成する方法には、種々のバリエーションが考えられる。

【0269】以下では、本実施形態のさらなるバリエーションについて詳しく説明する。

【0270】まず、これまで各構成例では、基底空間を S^2 、対象空間を S^2 として説明したが、それぞれ、非自明なトポロジーを持つ基底空間や対象空間を用いる場合など、他の空間を採用することによる実現形態も可能である。

【0271】例えば、画像の上端と下端とを同一視し、右端と左端とを同一視することで、基底空間をトーラス T^2 とすることも可能である。

【0272】次に、埋め込み画像を表す関数のバリエーションについて説明する。

【0273】埋め込み画像を表す関数において、画像周辺近傍での関数の変化を緩やかにし、周辺に近づくにつれ一定の値に漸近的に近づくように取れば、画像の切り取りが画像の中央付近の切り取りである場合には、失われた周辺部の積分値への影響は小さい。したがって、画像の中央付近に重要な内容が集中したコンテンツの場合には(そのようなコンテンツは比較的多いと考えられる)、切り取りに対する耐性もある程度実現できる。一般的には、その画像の重要な部分において関数の変化が大きくなるようにすれば、重要な部分だけを切り抜いても電子透かしが残るようにできる。

【0274】次に、動画像に対する処理のバリエーションについて説明する。

【0275】これまでは動画像については基本的には1フレーム毎に処理を行ったが、動画像に対する拡張としてこれまでとは異なる実施形態もある。例えば、基底空間を3次元球面とし、対象空間は2次元球面とし、 $\pi_3(S^2) = \mathbb{Z}$ というホモトピー群を利用した埋め込みを行う構成例である。

【0276】すなわち、動画像において、個々のフレームやフィールド(図26(a)の矩形)は、静止画の場合と同様に、2次元球面 S^2 と同一視できる。ある時間的期間の中に存在する複数のフレームやフィールドに対応して複数の2次元球面 S^2 が存在する(図26(b)の各球面)。これらの複数の2次元球面を時間順にしたがって積み重ねていくと、3次元球面を構成することができる(図26(c))。

【0277】ここで、始点と終点の2次元球面はそれぞれ1点に縮んでいるとみなす(図26(d))。

【0278】このように構成された3次元球面を基底空間とすることで、ホモトピー類 $\pi_3(S^2) = \mathbb{Z}$ の元を透かし情報を表現するために利用することができる。

【0279】この場合においても、ある動画像が、ある連続する所定の個数の複数のフレームにおいて、関数 f で表される代表値を持っているとき(図27(a))、それにつづく複数のフレームに対して、埋め込み関数 g を埋め込むことで(図27(a))、所望のホモトピー群の元となるように変更を施すことができる図27(b)。この場合、静止画と同様に(第1の構成例)、 f を所定の個数の半分の個数の複数のフレーム上の関数となるような処理を施し、残りの半分のフレーム上で定義された埋め込み関数と合成することで得られる関数を埋め込むことによって、その所定の個数の複数のフレームにおけるホモトピー群の元を所望の値に設定できる。

【0280】もちろん、静止画の場合と同様に(第2の構成例)、原画像の代表値を所望のホモトピー群の元に対応した埋め込み関数の値で置き換えてしまうような実施形態も可能である。

【0281】次に、音声データに対する処理のバリエーションについて説明する。

【0282】これまでは、対象コンテンツとして静止画や動画像を例にとり説明してきたが、もちろん、本発明は、他のメディアのデジタルコンテンツに対しても適用可能である。以下では、その一例として、音声や音楽のデジタルコンテンツを例にとり説明する。

【0283】図28に示すように、音声データは、音を伝える媒体(例えば、空気)の振動を複数の時刻においてサンプリングしたデータによって表現される。つまり、音声デー

タは、この振動の変位を時間の関数として表現したものとなる。

【0284】そこで、ある時間的期間を基底空間とする。この期間において、始点と終点を同一視することによって基底空間は、1次元球面 S^1 と同一視できる。その期間内の複数の標本点における振動を表すデータに対して、その振動を多ビットの数値で表現するとき、そのビットのうち、中間のビットプレーンから、2つのビット領域を設定する(図29(a))。これらビット領域がなす空間は、画像の場合の色空間に対応している(図29(b), (c))。これらの領域は、値を書き換えても、人間の耳にはほとんどその影響が聴き取れなく、しかも、圧縮操作等で埋め込んだ情報が消えてしまわないような範囲を選択するようにする。

【0285】この2次元空間中に、対象空間として、1次元球面(\mathbb{P}^1)を設定する。これにより、1次元球面から1次元球面への写像に関するホモトピー類 $\pi_1(S^1) = \mathbb{Z}$ の元を透かし情報を表現するために利用できる。電子透かし埋込装置および電子透かし検出装置については、映像の場合と同じ構成によって実現できる。

【0286】また、対象空間の別の選択方法の例としては、対象空間として、3つの周波数帯域を選択し、それぞれの帯域のLSBを選択し、その中に2次元トーラス T^2 をとる((図30(a), (b), (c)))。この場合、ホモトピー類 $\pi_2(T^2) = \mathbb{Z} \times \mathbb{Z}$ の元を透かし情報を表現するために利用できる。

【0287】さらに、対象空間の別の設定方法としては、音声データの場合には、マルチチャンネル(例えば、右と左の2チャンネルからなるステレオ音声データ)からなるデータがある。このようなデータの場合には、それぞれのチャンネルに対してビット領域を設定することで、対象空間を構成することも可能である。

【0288】これらの例では、画像の場合の幾何学的改変に対応する操作として、図31に示すに示すような、時間軸を伸縮させるような操作に対する耐性を実現することができる。

【0289】次に、位相不変量のバリエーションについて説明する。

【0290】本実施形態では、位相不変量としてホモトピー類を用いて説明してきたが、それ以外の位相不変量を用いることも可能である。

【0291】ホモトピー群(の元)以外の不変量(invariant)としては、例えば、ホモロジー群、コホモロジー群、あるいは、ベクトル束におけるStiefel-Whitney類、Chern類、Pontryagin類といった特性類(characteristic class)、多様体のEuler数、指数(index)や符号数(signature)、結び糸に関するAlexander不変量、あるいは、絡み糸に関するMilnor不変量など、多数のものが知られており(例えば、岩波数学事典第3版、日本数学会編集、岩波書店)、それら不変量を用いることも可能である。

【0292】なお、ホモトピー群では、例えば、Gauss-Bonnetの定理によって与えられる積分を用いたが、Chern類などの特性類の場合には、例えば、Atiyah-Singerの指数定理が与える積分を用いることができる。それらの場合、ホモトピー群について例示した積分量の代わりに、それらの不変量を導き出す積分量を用いればよい。

【0293】以下では、本実施形態のハードウェア構成、ソフトウェア構成について説明する。

【0294】本実施形態の電子透かし埋込装置は、ハードウェアとしても、ソフトウェア((コンピュータに所定の手段を実行させるための、あるいはコンピュータを所定の手段として機能させるための、あるいはコンピュータに所定の機能を実現させるための))

プログラム)としても、実現可能である。また、電子透かし埋込装置をソフトウェアで実現する場合には、記録媒体によってプログラムを受け渡しすることも、通信媒体によってプログラムを受け渡しすることもできる。もちろん、それらは、電子透かし検出装置についても同様である。また、電子透かし埋込装置や電子透かし検出装置をハードウェアとして構成する場合、半導体装置として形成することができる。また、本発明を適用した電子透かし埋込装置を構成する場合、あるいは電子透かし埋め込みプログラムを作成する場合に、同一構成を有するブロックもしくはモジュールがあっても、それらをすべて個別に作成することも可能であるが、同一構成を有するブロックもしくはモジュールについては1または適当数のみ用意しておいて、それをアルゴリズムの各部分で共有する(使い回す)ことも可能である。電子透かし検出装置を構成する場合、あるいは電子透かし検出プログラムを作成する場合も、同様である。また、電子透かし埋込装置および電子透かし検出装置を含むシステムを構成する場合、あるいは電子透かし埋め込みプログラムおよび電子透かし検出プログラムを含むシステムを作成する場合には、電子透かし埋込装置(あるいはプログラム)と電子透かし検出装置(あるいはプログラム)に渡って、同一構成を有するブロックもしくはモジュールについては1または適当数のみ用意しておいて、それをアルゴリズムの各部分で共有する(使い回す)ことも可能である。

【0295】また、電子透かし埋込装置や電子透かし検出装置をソフトウェアで構成する場合には、マルチプロセッサを利用し、並列処理を行って、処理を高速化することも可能である。

【0296】なお、本実施形態で例示した構成は一例であって、それ以外の構成を排除する趣旨のものではなく、例示した構成の一部を他のもので置き換えたり、例示した構成の一部を省いたり、例示した構成に別の機能を付加したり、それらを組み合わせたりすることなどによって得られる別の構成も可能である。また、例示した構成と論理的に等価な別の構成、例示した構成と論理的に等価な部分を含む別の構成、例示した構成の要部と論理的に等価な別の構成なども可能である。また、例示した構成と同一もしくは類似の目的を達成する別の構成、例示した構成と同一もしくは類似の効果奏する別の構成なども可能である。また、各種構成部分についての各種バリエーションは、適宜組み合わせて実施することが可能である。また、本実施形態は、個別装置としての発明、システム全体としての発明、個別装置内部の構成部分についての発明、またはそれらに対応する方法の発明等、種々の観点、段階、概念またはカテゴリに係る発明を包含・内在するものである。従って、この発明の実施の形態に開示した内容からは、例示した構成に限定されることなく発明を抽出することができるものである。

【0297】本発明は、上述した実施の形態に限定されるものではなく、その技術的範囲において種々変形して実施することができる。

【0298】

【発明の効果】本発明によれば、埋め込むべき透かし情報に対応する位相不変量を対象コンテンツに設定するようにしたので、たとえ流通経路などでStirMark攻撃やD-A-D変換などの局所的変形を受けてもコンテンツに設定した位相不変量は維持・保存される。そして、局所的変形を受けたか否かにかかわらずコンテンツから正しい位相不変量を検出し、対応する正しい透かし情報を得ることができる。

図の説明

【図面の簡単な説明】

- 【図1】本発明の一実施形態に係る電子透かし埋込み装置及び電子透かし検出装置を含むコンテンツ流通システムの概略構成を示す図
- 【図2】同実施形態に係る位相不変量を用いた電子透かし埋め込みにおける処理手順の一例を示す図
- 【図3】同実施形態に係る位相不変量を用いた電子透かし検出における処理手順の一例を示す図
- 【図4】同実施形態に係る位相不変量を用いた電子透かし埋め込みにおける処理手順の他の例を示す図
- 【図5】同実施形態に係る位相不変量を用いた電子透かし検出における処理手順の他の例を示す図
- 【図6】同実施形態に係る電子透かし埋込装置の構成例を示す図
- 【図7】同実施形態に係る電子透かし埋込装置／電子透かし検出装置のホモトピー類計算部の内部構成例を示す図
- 【図8】同実施形態における位相不変量に関係する処理について説明するための図
- 【図9】同実施形態において基底空間を2次元球面と同一視する様子を説明するための図
- 【図10】同実施形態における基底空間と対象空間との例を示す図
- 【図11】同実施形態に係る電子透かし埋込装置のホモトピー類変更部の内部構成例を示す図
- 【図12】同実施形態におけるホモトピー類の設定について説明するための図
- 【図13】同実施形態に係る電子透かし埋込装置のホモトピー類変更部の画像変更部の内部構成例を示す図
- 【図14】同実施形態に係る電子透かし検出装置の構成例を示す図
- 【図15】同実施形態において埋込済みコンテンツが変形を受けた場合について説明するための図
- 【図16】同実施形態に係る電子透かし埋込装置の他の構成例を示す図
- 【図17】同実施形態に係る電子透かし埋込装置のホモトピー類変更部の他の内部構成例を示す図
- 【図18】同実施形態に係る電子透かし埋込装置のホモトピー類変更部のさらに他の内部構成例を示す図
- 【図19】同実施形態における対象コンテンツに加える変形の最適化について説明するための図
- 【図20】同実施形態に係る電子透かし埋込装置のさらに他の構成例を示す図
- 【図21】同実施形態に係る電子透かし検出装置の他の構成例を示す図
- 【図22】同実施形態に係る電子透かし埋込装置のさらに他の構成例を示す図
- 【図23】同実施形態に係る電子透かし検出装置のさらに他の構成例を示す図
- 【図24】同実施形態に係る電子透かし埋込装置のさらに他の構成例を示す図
- 【図25】同実施形態に係る電子透かし検出装置のさらに他の構成例を示す図

【図26】同実施形態における動画像に対する他の処理方法について説明するための図

【図27】同実施形態における動画像に対する他の処理方法について説明するための図

【図28】同実施形態における音声に対する処理方法について説明するための図

【図29】同実施形態における音声に対する処理方法について説明するための図

【図30】同実施形態における音声に対する処理方法について説明するための図

【図31】同実施形態における音声に対する処理方法について説明するための図

【図32】StirMarkによる画像の幾何学的変形の様子を示す図

【図33】スケール変換によって周辺のブロック内の画素が大きく変位する様子を示す図

【図34】局所的変形をパッチごとにアフィン変換で近似する様子を示す図

【図35】同実施形態に係る電子透かし埋込装置のさらに他の構成例を示す図

【図36】同実施形態に係る電子透かし検出装置のさらに他の構成例を示す図

【符号の説明】

1…電子透かし埋込装置

1-1, 1-2…電子透かし埋込部

2…電子透かし検出装置

2-1, 2-2…電子透かし検出部

3…流通経路

11, 21…ホモトピー類計算部

12, 14…ホモトピー類変更部

13, 2015…透かし情報・ホモトピー類変換部

22, 1014, 1024, 2024…ホモトピー類・透かし情報変換部

111…領域分割部

112…対象値計算部

113…積分部

121…合成類計算部

122…埋め込み関数生成部

123…画像変更部

124…最適パラメータ選択部

1231…領域分割部

1232…画素値変更部

1011, 1021, 2011, 2021, 2411, 2421…フレーム分割部

1012, 2012, 2412…静止画への電子透かし埋込部

1013, 2013, 2413…フレーム再合成部

1022, 2022, 2422…静止画からの電子透かし検出部

1023…最尤類計算部

2014…ランダム化部

2023…逆変換部

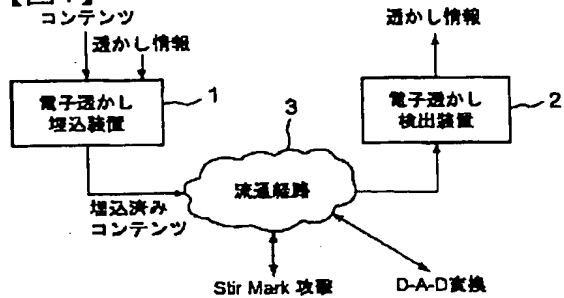
2414, 2434…乱数生成部

2415…透かし情報・乱数シード変換部

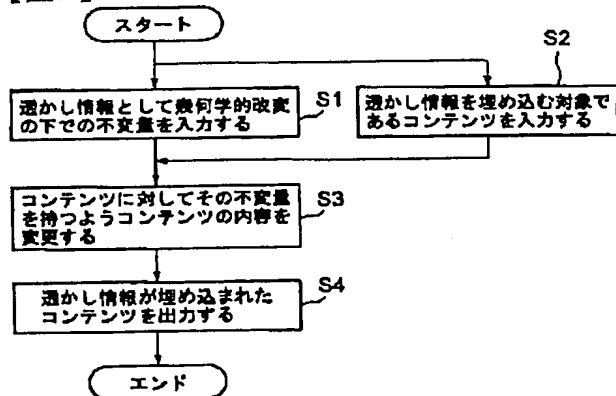
2423…相関判定部
 2424…乱数シード・透かし情報変換部
 2435…乱数シード生成部

図面

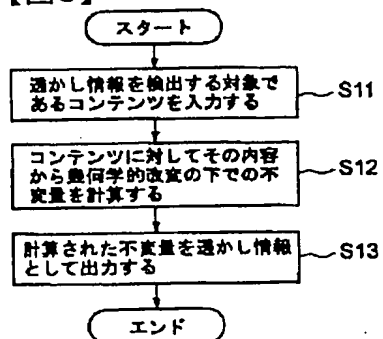
【図1】



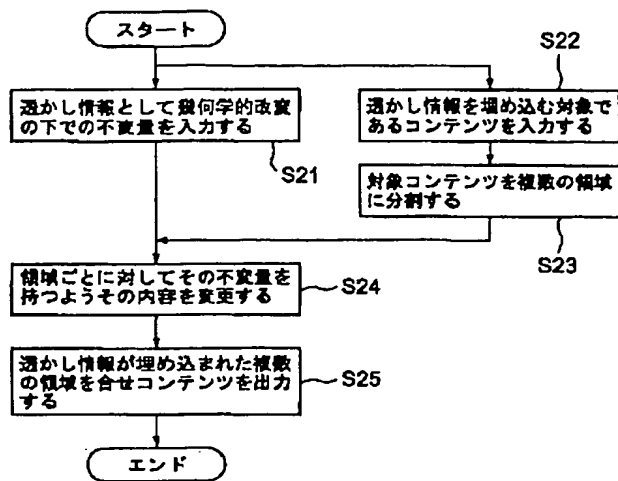
【図2】



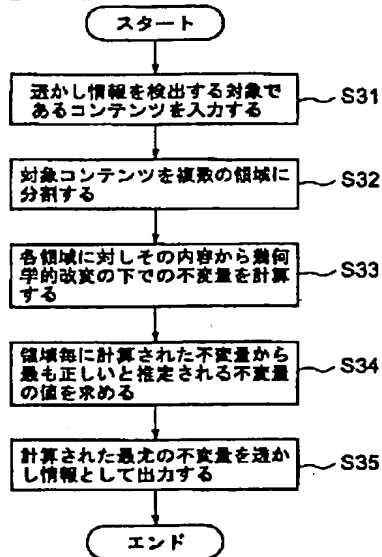
【図3】



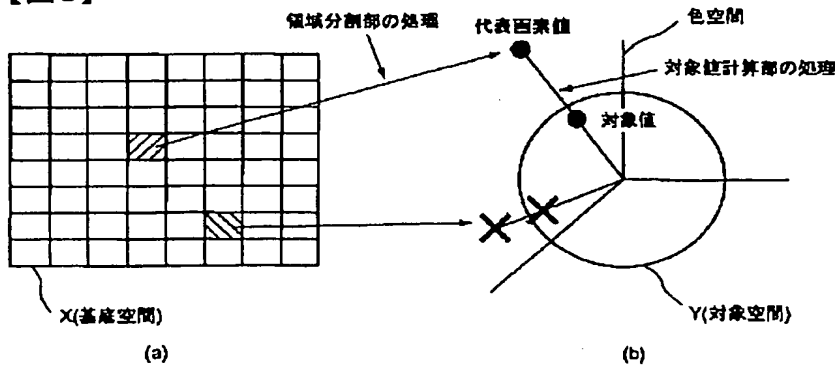
【図4】



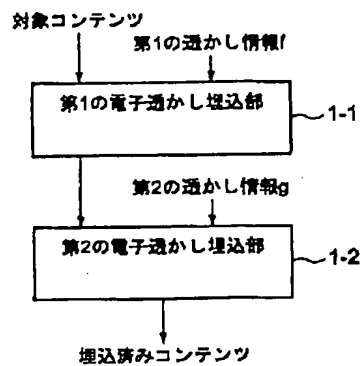
【図5】



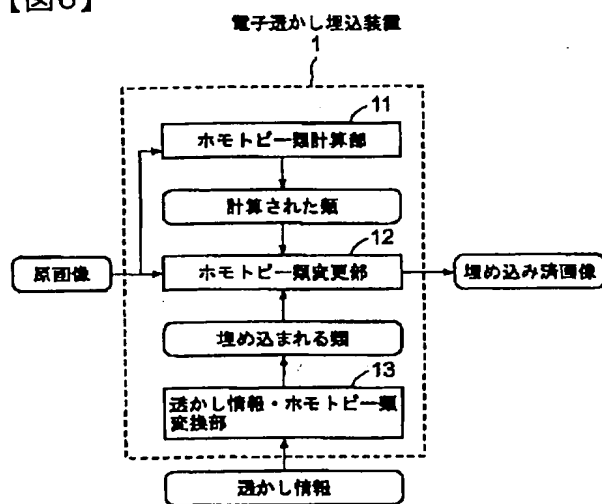
【図8】



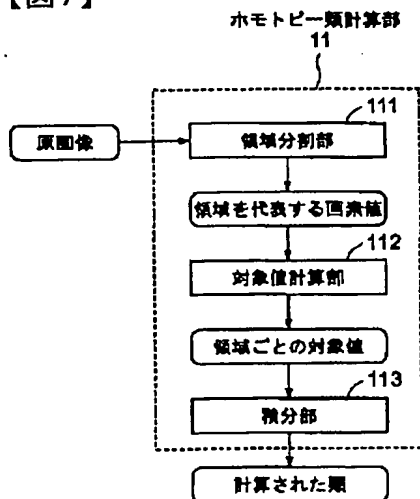
【図20】



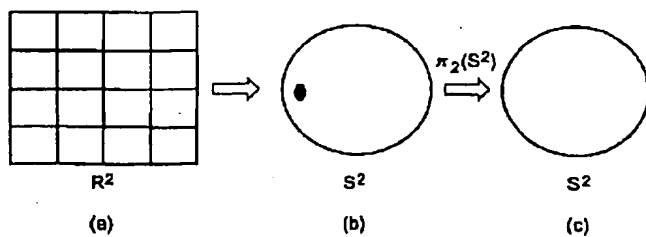
【図6】



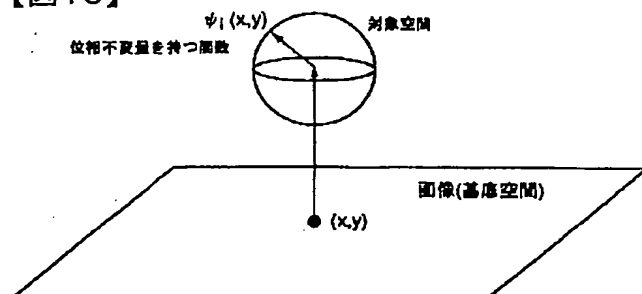
【図7】



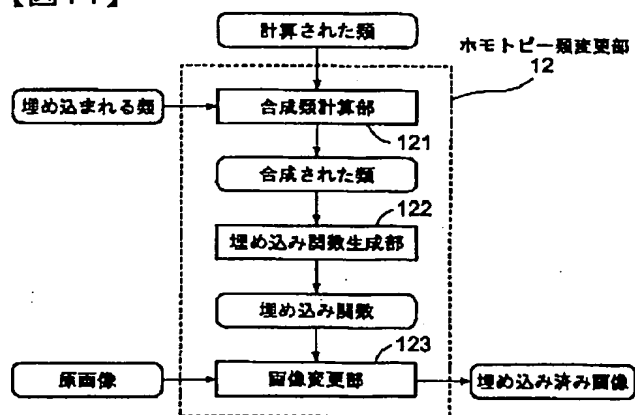
【図9】



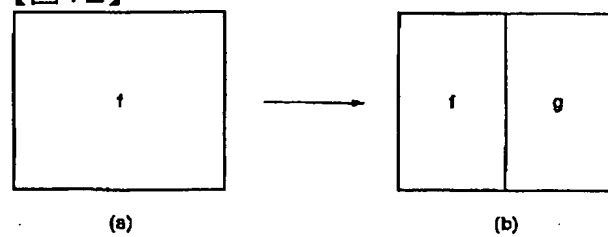
【図10】



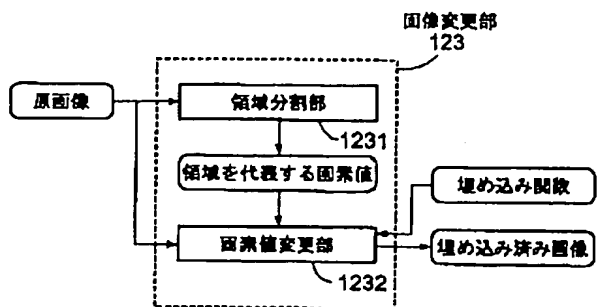
【図11】



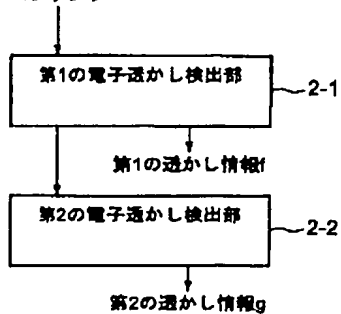
【図12】



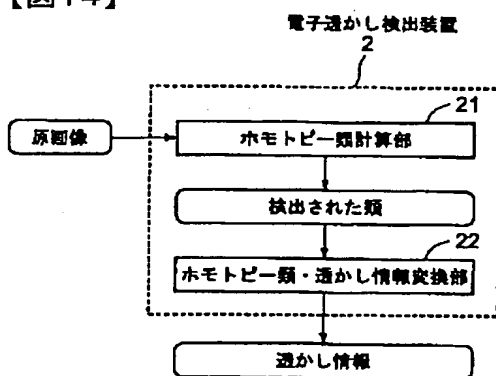
【図13】



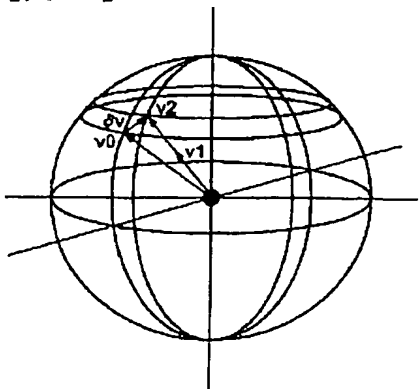
【図21】
コンテンツ



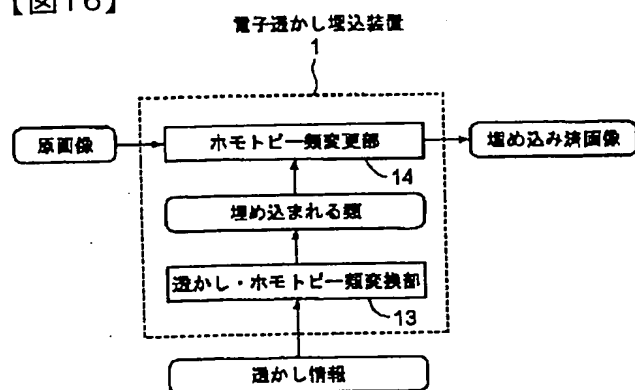
【図14】



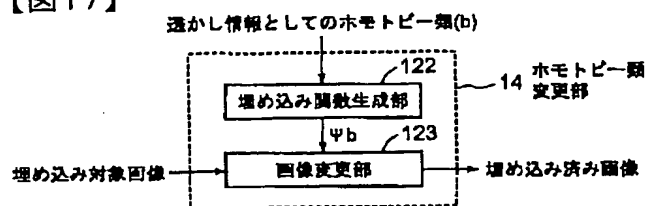
【図15】



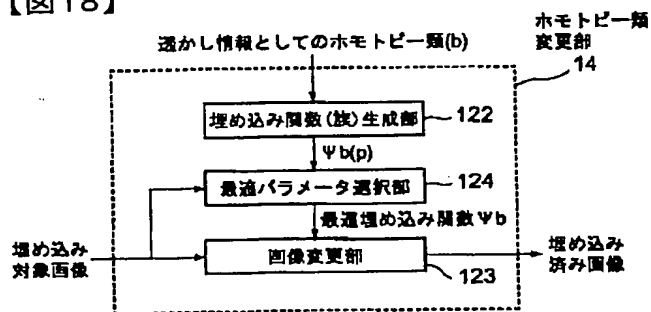
【図16】



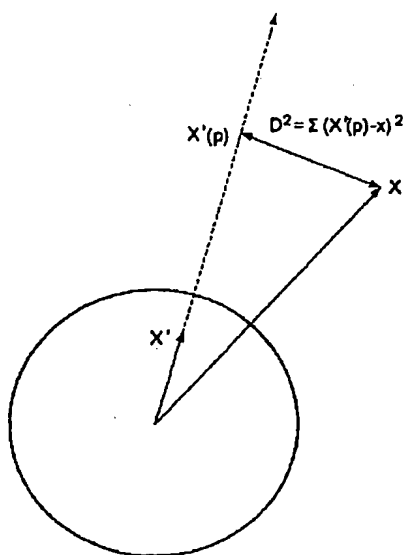
【図17】



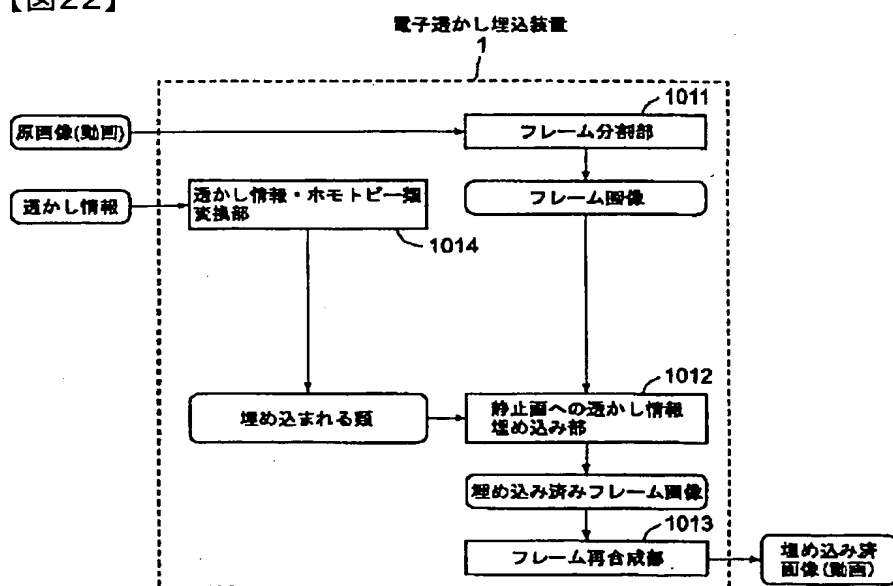
【図18】



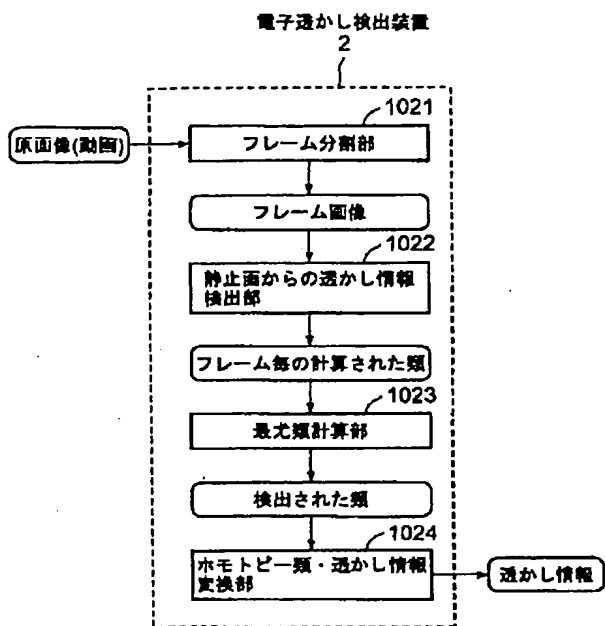
【図19】



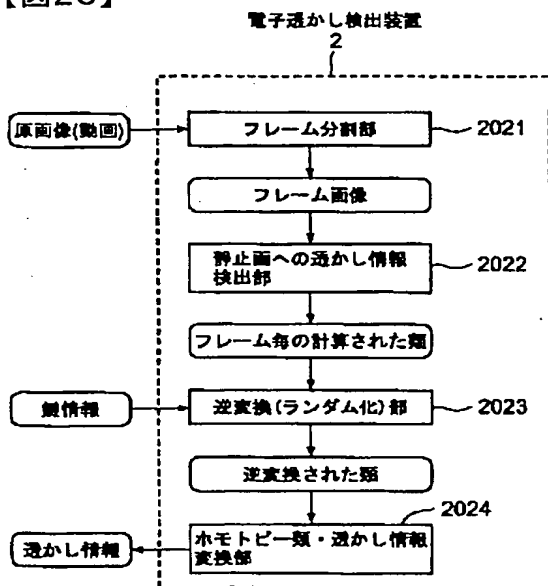
【図22】



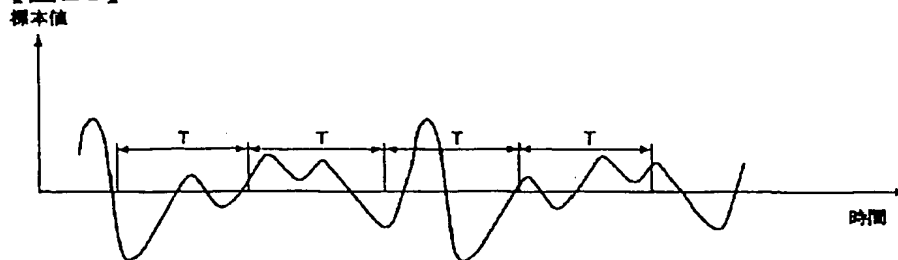
【図23】



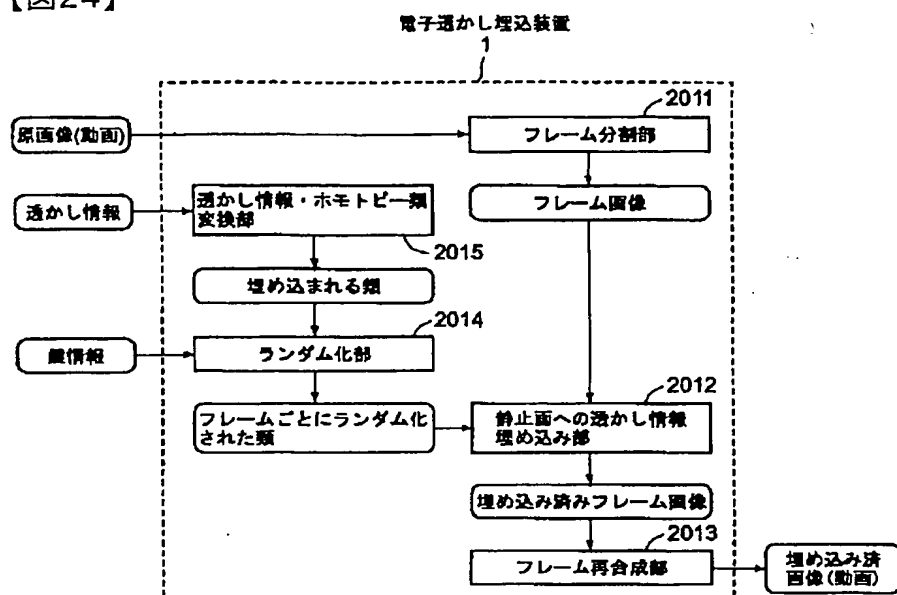
【図25】



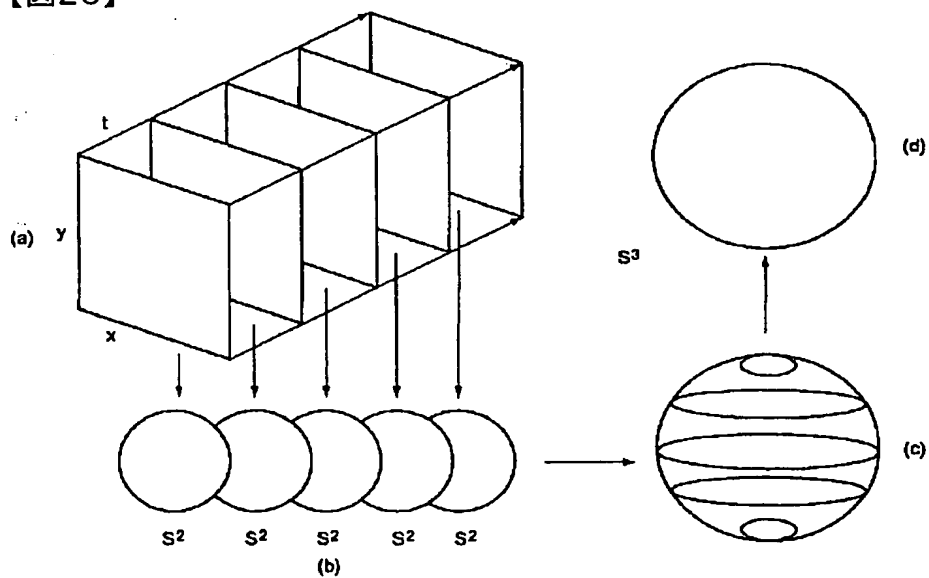
【図28】



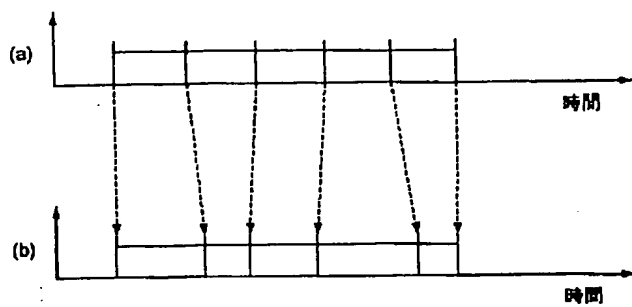
【図24】



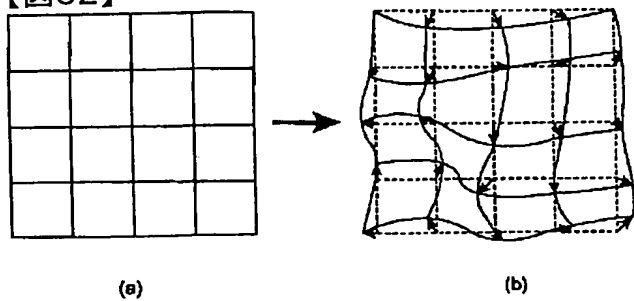
【図26】



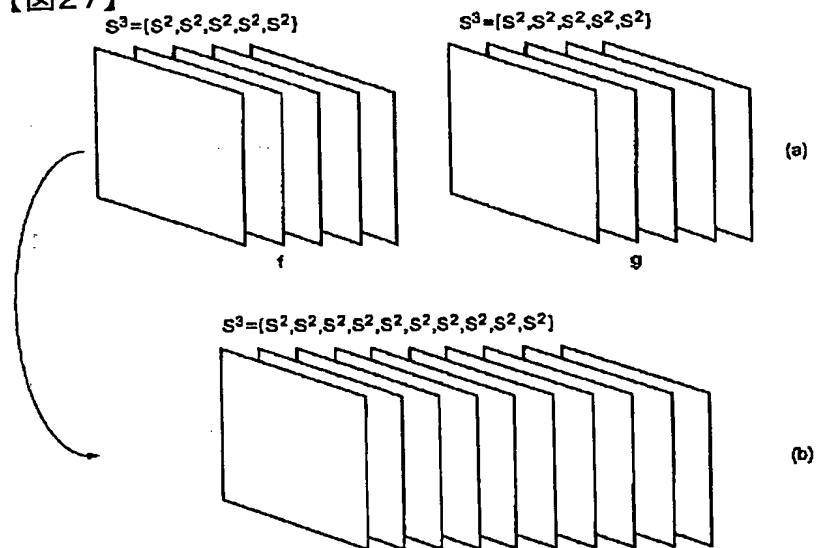
【図31】



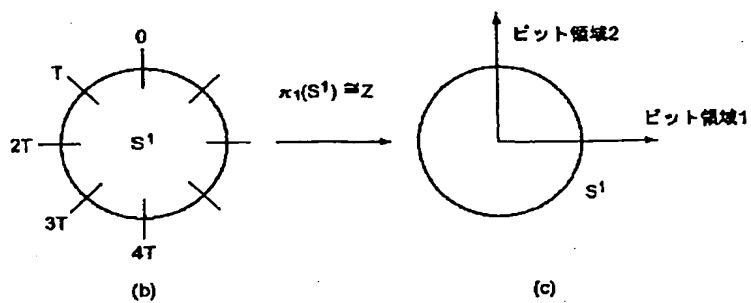
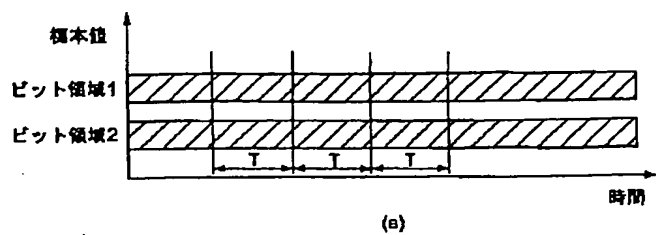
【図32】



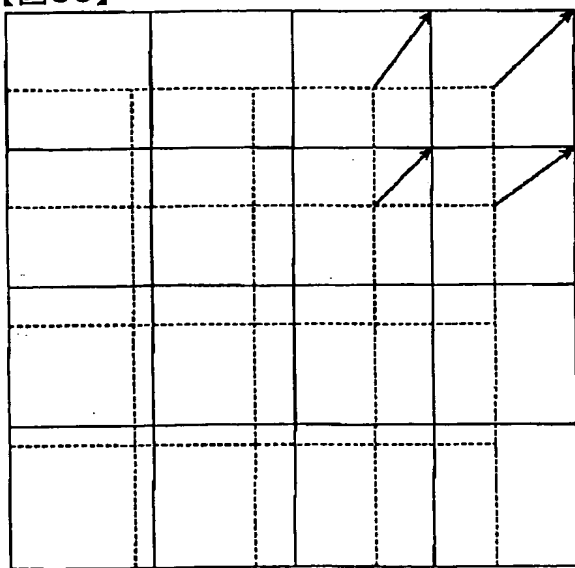
【図27】



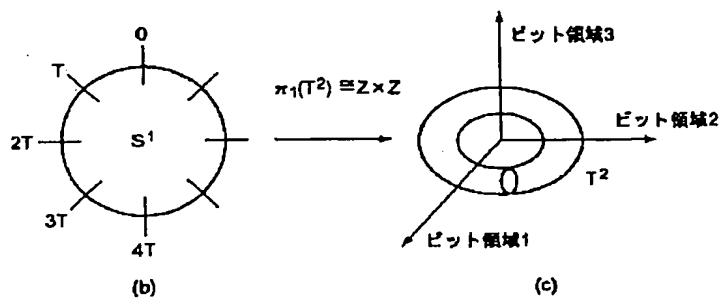
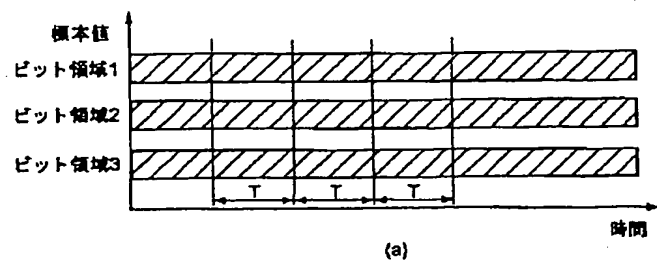
【図29】



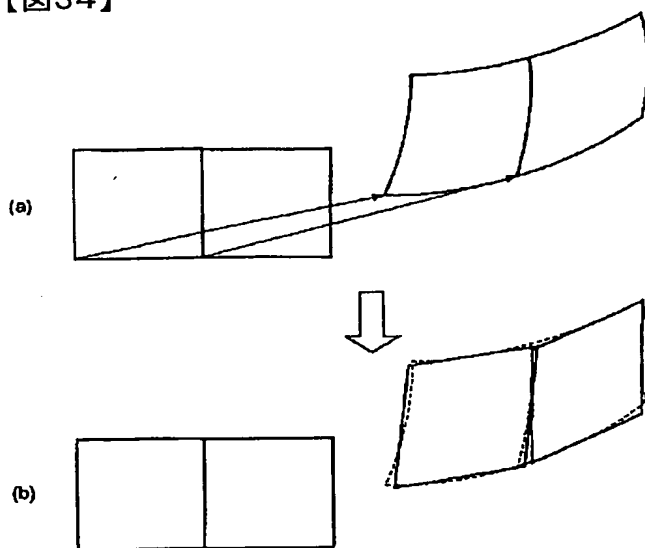
【図33】



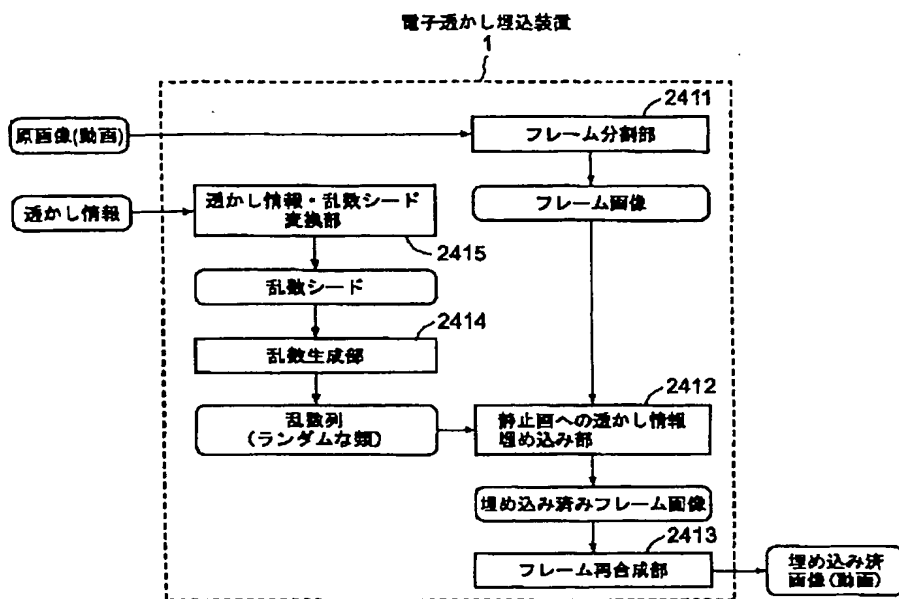
【図30】



【図34】



【図35】



【図36】

